2012 年度 電子工学実験 (3 年前期) テキスト

徳山工業高等専門学校 情報電子工学科

∗ 実験テーマ:

1 オシロスコープの使い方
2 電子部品 1 (抵抗の基礎実験)
3 電子部品 2 (コンデンサとコイルの基礎実験)
4 コンデンサの特性測定 (RC 直列回路)
5 RC 回路のパルス応答と周波数応答
6 オシロスコープの操作のテスト
7 ダイオードの静特性
8 トランジスタの直流特性
9 ダイオード，トランジスタを用いた論理回路
10 IC による論理回路
11 小信号増幅回路
12 オペアンプの基礎実験

∗ スケジュール:

<table>
<tr><th rowspan="2">班</th><th colspan="3">4 月</th><th colspan="4">5 月</th><th colspan="4">6 月</th><th colspan="3">7 月</th><th>8 月</th></tr>
<tr><th>11</th><th>18</th><th>25</th><th>9</th><th>16</th><th>23</th><th>30</th><th>6</th><th>13
or
14</th><th>20</th><th>27</th><th>4</th><th>11</th><th>18</th><th>8</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="12">実験ガイダンス</td><td rowspan="12">1</td><td rowspan="12">2</td><td rowspan="12">3</td><td rowspan="12">4</td><td rowspan="12">5</td><td rowspan="12">6</td><td rowspan="12">講義</td><td rowspan="12">7</td><td rowspan="12">8</td><td rowspan="12">9</td><td rowspan="12">10</td><td rowspan="12">11</td><td rowspan="12">12</td><td rowspan="12">講義</td></tr>
<tr><td>2</td></tr>
<tr><td>3</td></tr>
<tr><td>4</td></tr>
<tr><td>5</td></tr>
<tr><td>6</td></tr>
<tr><td>7</td></tr>
<tr><td>8</td></tr>
<tr><td>9</td></tr>
<tr><td>10</td></tr>
<tr><td>11</td></tr>
<tr><td>12</td></tr>
</table>

班 ____________________

氏名 ______________________________

実験テーマ名 ________________________　出席番号 ________　氏名 ____________

事項	備考
実験前の疑問点や座学との関連について記載せよ (最大 3 点) : 得点	疑問点がない場合は，左欄に「無し」と記載して， a) 教員に口頭試問を受ける b) 他の学生の疑問点に答える のどちらかを実行すること． b) の場合は回答内容と相手の名前を左欄に記載すること．
疑問点の回答を要約して記載: 回答者氏名 (　　　　　　　　　)	回答者は，学生でも教員でもどちらでも良い．オフィスアワーなどを活用してください．
実験で行ったことを要約して記載せよ (最大 3 点) : 得点	レポートの提出がない場合や結果が書かれていない場合は，実験を行った証明がないので右欄は残念ながら 0 点となる．
「他の班員に迷惑をかける同一の行為」を複数回行った． 一回目 (減点なし)　二回目 (2 点減点)　三回目 (再実験)	迷惑をかける行為に該当した場合は，教員や他の班員や学生が右欄に行為を記録し更に記名する．
レポートについて自己採点せよ (最大 3 点) ◯ 図面・グラフ・表などをフォーマットに従って記述している (1 点) ◯ 考察 もしくは 検討 を記述している (1 点) ◯ 考察が優れている (1 点) ◯ 参考文献やウェブの情報を丸写ししている (減点 1) 締切時の得点　書き直し後の得点	レポートの何ページ目の何行目に記載しているかを記述すること． 自己評価と教員の評価が明らかに違う場合は，話し合いの上得点を決定することとする． つまり，同じ内容のレポートでもプレゼンテーション能力 (自己の能力のアピール方法) の差で 1 点程度は違う点数が付くことがある．
締切を守り，書き直しを行っていない (1 点) 締切を守ったがその後に書き直した (0 点) 正当な理由なく，締切を破った (減点 1) 得点	

上記項目に従って採点した結果は，________ 点である．(左の点数は学生記載)

最終的な得点は，________ 点である．(左の点数は，教員記載) 教員サイン: ____________

第 0 章　諸注意

0.1　学生実験の心構え

自然科学では，自然現象の中からいくつかの量に着目してその関係を求め，それを自然法則として確立していくことが行われる．その際，実験は現在ある理論の当否を判断するために使われたり，また新しい理論が作り出される資料になったりする．この意味では実験は理論と表裏一体をなすものと考えてよく，共に自然科学の進歩を担っている．その第一線の研究では，方法や装置を自ら工夫しながら一歩ずつ前進を試みるのが通常である．学生実験は，将来行うであろうこの様な第一線での研究実験に対する基礎知識や態度を養うことを主目的としている．

学生実験では通常，方法も装置も与えられ，学生はそれに従えば結果を得ることができる．しかしながら，自然現象を見つめるという点では，研究実験とまったく変わらない．実験において最も重要なことは，実験事実を素直に受けとめ，考察を加えることである．結果が予測されているような学生実験でも，予想と違った結果が得られることがしばしばある．このようなとき，その原因をいろいろな角度から追求することは必要な態度である．単に性急に結果をもとめ，それに満足するだけでは良くない．自分の得た結果が，方法や装置からみて妥当なものかどうか，また実験目的にかなったものかどうかなどを考察するのは当然であるし，それがなくしては実験をした意味がないのはいうまでもない．

0.2　実験上の注意

a) 予備知識： 学生実験は与えられた時間内で結果を得る必要があるわけであるから，あらかじめ指導書を読んで備えなければ不満足な結果に終わる恐れがある．測定を始める前に実験の目的，方法を十分に理解することが満足な実験結果を得る第一歩である．

b) 使用機器： 機器を使用する前に，その構造，原理，使用法を理解することは必要である．また，あらかじめ調整を行う必要がある機械もあるので注意すること．測定には細心の注意を払い，機械の容量などをわきまえてその性能を損傷しないようにする．

c) ノート　： 実験には必ずノート (実験帳) を持参し，そこに実験題目，日時，天候，温度，湿度，共同実験者の氏名を書き，測定値や実験中に気付いた点をすべて記録しておく．これらは実験報告書を作成する際に使われる．また，計算も実験帳で行い，実験帳は，提出を求められた際に提出する．

d) 実験後の後始末： 実験終了後，使用機械は実験開始前の状態にもどし，机上を整理する．

0.3 報告書の作り方

ノート (実験帳) の記録を基にして報告書を作り，それを提出する．

0.3.1 一般上の注意

(1) 報告書の用紙は A4 版 (21 × 30cm) の大きさを使用し，切断したり，はりつけたりしない．また，グラフ用紙についても同様である．

(2) 文字はていねいにインク (ボールペン等) で書き，訂正はインク消し (修正ペン，修正テープ) を用い，ぬりつぶしたりしない．文章は常体を用い主部，述部のはっきりした簡潔な文章にするよう心掛ける．イメージスキャナによる図面の取り込みや，ウェブページ等からの転記は認めない．また，前期においてはワードプロセッサ，TEX 等の使用は認めない．

(3) 報告書の余白はメモ，計算などの雑記に使用しない．それらは実験帳で行う．

(4) 報告書の図，グラフには Fig. 5，表には Table. 2 のようにそれぞれ通し番号と表題を付ける．

(5) 報告書は表紙の次の用紙からページを入れる．

(6) 報告書は上部を 3ヶ所ホチキスでとじる．

(7) 表紙は実験室に置いてあるものを用いる．

0.3.2 報告書の内容

(1) 目的，原理，使用器具，測定法

　これらはテキストに書いてあることをそのまま写すのではなく，簡潔にまとめて，自分の言葉で書くように心掛ける．また，他の参考図書でも勉強し，それらも付け加えることが望ましい．参考文献は引用した箇所の文章，または項目の右肩に [1)]，[2)] の様に参考文献番号を付ける．

(2) 測定結果，測定値の処理計算及び結果

　測定値は表 (Table) にし，Table の番号及び表題は表の上に書く．測定値及び計算値には単位を付ける．処理計算の細かいところは実験帳で行う．有効数字を念頭にいれて，数字は 1.23×10^6，-4.567×10^3 のように書く．

(3) グラフ

　グラフは鉛筆を用い，インクは用いない．グラフの番号及び表題をグラフの下に書く．グラフの縦軸及び横軸に物理量，単位及びスケールを明示する．A – B 特性といえば A を縦軸，B を横軸にとる．目盛値が大きく，たとえば 2300 のようなときは 2.3×10^3 とし，$\times 10^3$ はグラフ軸の末端に書く．測定値をグラフ上に記す場合，直径 2mm の ○ 印や × 印等を使う．記入された点の全体の様子からそれらの点の様子を表す直線または曲線を (雲型) 定規を使って書く．また，実験式を求めた時はそれもグラフに書く．

I [mA]

30

20

10

0

0 10 20

V [V]

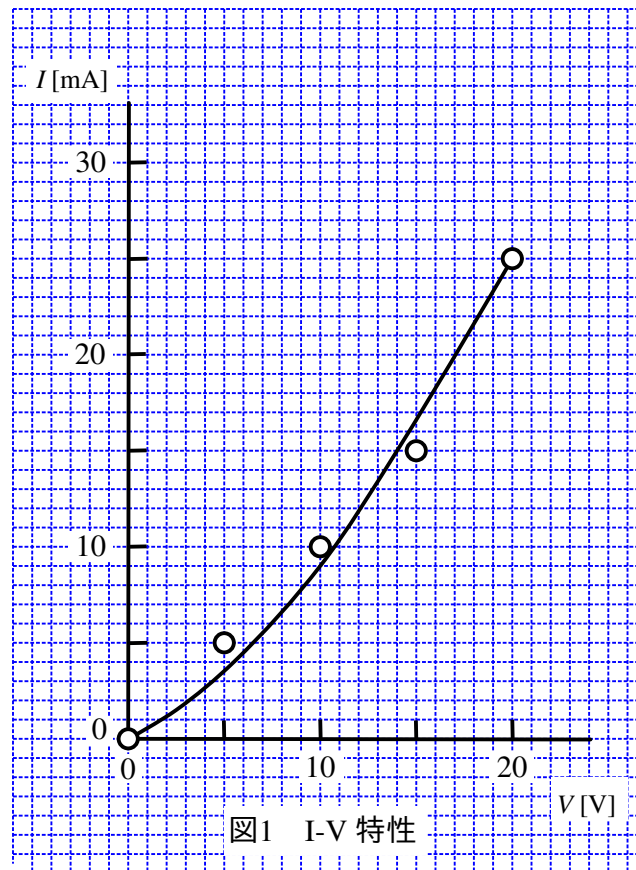
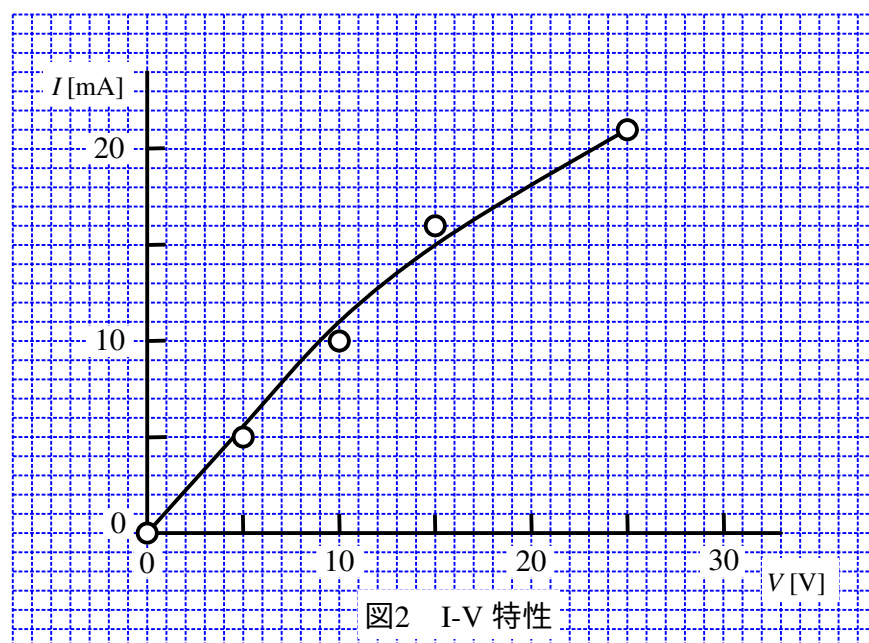
図1 I-V 特性

1. 縦横の軸
2. 目盛りのきざみ
3. 目盛りの数字
4. 単位
5. 軸の名称
6. グラフの表題

図2 I-V 特性

こちら側を上にしてとじる

(4) 検討 (考察)

検討は実験の最も重要な箇所である．得られた実験結果をいろいろな角度から吟味する．検討の項目としては，たとえば，① 装置に関する検討，② 実験方法に関する検討，③ 実験結果に対する検討などが考えられ，実験結果が実験目的にかなったものであるか等に留意する．また，実験の原理がどのように応用されているのか，理解した範囲を噛み砕いて書く．

(5) 所感

感想 (技術的，学術的な裏付けのないコメント等) は，所感として記述する．検討・考察とは明確に分離して記述すること．

(6) 設問

実験テーマ中に設問がある場合は，実験をさらに理解するためのものであるから，指導書，参考書等をもとに解答する．

(7) 参考図書

報告書を書く際に指導書以外に利用した図書，論文は必ず明示する．明示は次の二ヶ所である．① 本文中の引用箇所で引用文または項目の右肩に [1)]，[2)] の様に参考文献番号を付ける．② 報告書の末尾にその一覧を① の番号と共に書く．記述する内容は以下の通りである．

1) 西野治：電気計測，コロナ社 (1976) pp.205〜218
2) 吉田，武居：物理学実験，三省堂 (1969) pp.209〜214

なお，Web ページを参考図書とすることは認めない．図書館等で調べること．

0.4 その他の注意事項

1) 実験室では，不用意な行動は慎むこと．無思慮な行動は，あなたや周りの人の健康や生命に関わる．(感電，やけど，骨折，切傷，擦傷などの危険．) 同様の理由で，服装等にも気を配ること．髪の長いものは，適度に結ぶなどの工夫を行い，金属 (導体) のアクセサリ類は，身につけないこと．注意・指導しても直らない場合には，他人に迷惑をかけるので強制退室になる．
2) 実験を行う上で必要になるものは，忘れないこと．(ノート，1mm 方眼紙，鉛筆，ボールペン，定規，電卓，その他)
3) 机に計算やデータ等を落書きしない．ノートを使用すること．
4) 後のページにある評価に対するフローチャート類を熟知しておくこと．
5) 実験中の無断退室や携帯電話 (メールの読み書きや電卓機能，カメラ機能の使用を含む) の使用は厳禁．ただし，休み時間 (14:05〜14:10，15:00〜15:10，16:00〜16:05) は，他人の迷惑にならない程度の休憩のための退室は可能である．
6) 実験が終了かつ 15:00 以降ならば，退出可能である．(逆に，実験が終了しないならば，17:00 までは授業として拘束される．) 17:00 以降は,「一旦実験を打ち切り別の日に実験する」もしくは「18:00 まで延長する」のどちらかを選択可能である．ただし，それまでの成果が認められない場合は，延長を認めない．いかなる場合でも，週末までには実験を完了させる必要がある．
7) 全ての計測が完了したら，計測したデータを教員に確認してもらうこと．教員の確認なしに，実験を終了することはできない．
8) 一番最後に実験が終了した班は，実験室の清掃を行うこと．

実験のフローチャート
予習を行なう
予習をしない
疑問点がある
疑問点がない
教員や友人に質問して
疑問点を解消
友人の質問に答えたり
教員の口頭試問を受ける
実験日の朝までに，自己評価シートを提出
(予習点 ： 最大3点)
締切までに提出が無け
れば，予習点は0点
実験日に実験
(実験点 ： レポートに実験結果が書かれていれば最大3点)
した
しない
退場させられた
指示日に実験
した
しない
レポートと自己評価シートを作成 (レポート点 ： 最大3点)
締切日 (翌週の火曜日の朝) までに提出
1つでもここに来ると
単位は取れない!
した
しない
締切厳守は，
1点加点
正当な理由がない
場合は，1点減点
しない(1回目)
実験後2週間以内に提出
した
しない(2回目以降)
該当する実験は，
0点となる!
レポートと自己評価シートに対して，
教員の評価と一致しているか確認する
評価が一致
評価が不一致
未確認
指定した日までに該当箇所を
修正し提出
正しくレポートなど
を修正(1点減点)
自己評価シート
のみを修正
レポートの返却を受ける
得点は，自己採点の点
レポートの返却を受ける
得点は，教員採点の点

1. レポートの提出締切は，実験を行った翌週の火曜日 (火曜日が休みの場合は，次の登校日) の 8:40 までとする．(公共交通機関等の遅れや病気等で遅れた場合は，出校直後の休み時間に理由を申し立てて提出すると締切を守ったこととする．)
2. レポートが作成途中の段階でも，締切までには一旦提出する方が，採点上は有利となることが多い．(有利になるかならないかは，フローチャートを参照せよ．)
3. どのような理由の場合でも，実験に参加できない，または，レポートが提出できない場合は，それらの理由を担当教員に速やかに伝え，適切な指示を得ること．
4. レポート類は，各自が学習できるように一旦返却するが，学期末には全て提出すること．提出なき場合は，該当する実験の点数が 0 点となる．

自己評価シートの内容は，以下のようになる．様式などは適時改良を加えるが，問いたい内容 (予習・実験・レポートに関して) は大きくは変わらない．

実験に関する疑問点については，事前に教員または学生に質問して解決しておくこと．

実験テーマ名 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　出席番号 ＿＿＿＿　氏名 ＿＿＿＿＿＿

<table>
<tr><td colspan="4">事項</td><td>備考</td></tr>
<tr><td colspan="3">実験前の疑問点や座学との関連について記載せよ (最大 3 点) :</td><td>得点</td><td>疑問点がない場合は，左欄に「無し」と記載して，
a) 教員に口頭試問を受ける
b) 他の学生の疑問点に答える
のどちらかを実行すること．

b) の場合は回答内容と相手の名前を左欄に記載すること．</td></tr>
<tr><td colspan="4">疑問点の回答を要約して記載: 回答者氏名 (　　　　　　　　　　　　)</td><td>回答者は，学生でも教員でもどちらでも良い．オフィスアワーなどを活用してください．</td></tr>
<tr><td colspan="3">実験で行ったことを要約して記載せよ (最大 3 点) :</td><td>得点</td><td>レポートの提出がない場合や結果が書かれていない場合は，実験を行った証明がないので右欄は残念ながら 0 点となる．</td></tr>
<tr><td>「他の班員に迷惑をかける
同一の行為」を複数回行った．</td><td>一回目
(減点なし)</td><td>二回目
(2 点減点)</td><td>三回目
(再実験)</td><td>迷惑をかける行為に該当した場合は，教員や他の班員や学生が右欄に行為を記録し更に記名する．</td></tr>
<tr><td colspan="2">レポートについて自己採点せよ (最大 3 点)
○ 図面・グラフ・表などをフォーマットに従って記述している (1 点)

○ 考察 もしくは 検討 を記述している (1 点)

○ 考察が優れている (1 点)

○ 参考文献やウェブの情報を丸写ししている (減点 1)</td><td>締切時の得点</td><td>書き直し後の得点</td><td>レポートの何ページ目の何行目に記載しているかを記述すること．

自己評価と教員の評価が明らかに違う場合は，話し合いの上得点を決定することとする．

つまり，同じ内容のレポートでもプレゼンテーション能力 (自己の能力のアピール方法) の差で 1 点程度は違う点数が付くことがある．</td></tr>
<tr><td colspan="3">締切を守り，書き直しを行っていない (1 点)
締切を守ったがその後に書き直した (0 点)
正当な理由なく，締切を破った (減点 1)</td><td>得点</td><td></td></tr>
</table>

上記項目に従って採点した結果は，＿＿＿＿ 点である．(左の点数は学生記載)

最終的な得点は，＿＿＿＿ 点である．(左の点数は，教員記載) 教員サイン: ＿＿＿＿＿＿

第1章　オシロスコープの使い方

1.1　目的

計測機器は，ハードウェアの動作を知るための強力な武器の一つである．その中で，もっとも強力な武器となるオシロスコープの使い方についての学習を行う．

1.2　オシロスコープの外観

アナログ・オシロスコープのフロントパネルは，図 1-1 のようになっている．この図 1-1 は，EZ Digital OS–5020[*1-1]の取扱説明書の一部 (P.15) につまみの説明を加えたものである．

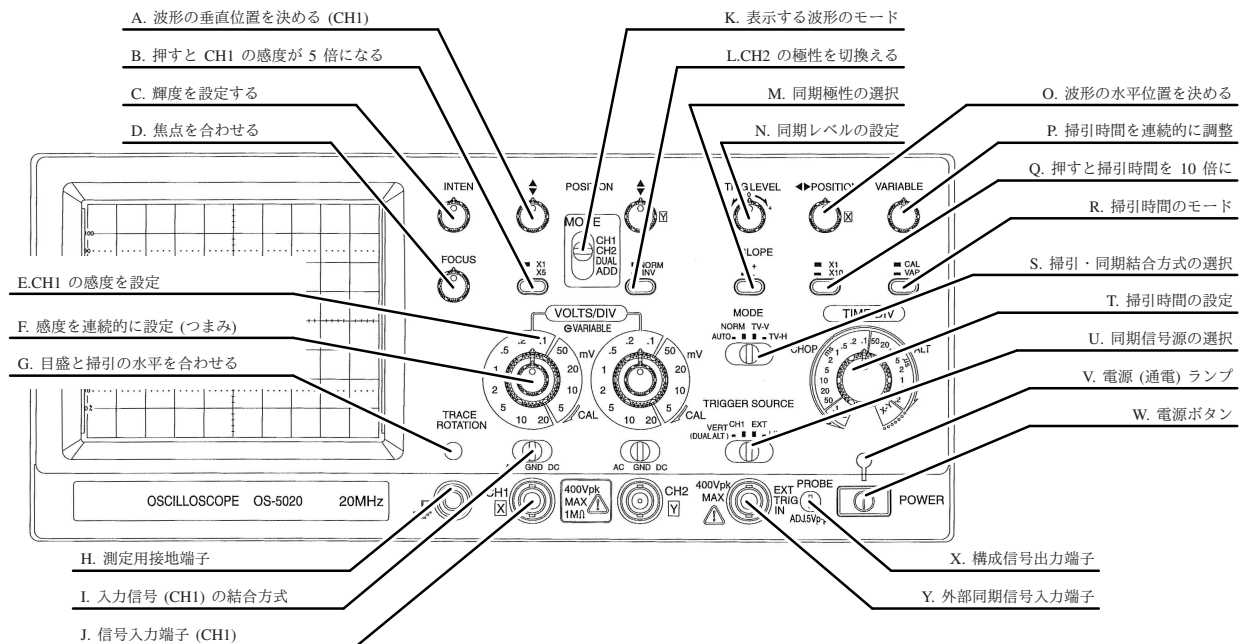



図 1-1 オシロスコープのフロントパネル

1.3　CAL 端子の電圧波形の測定

計測機器には，必ず「取扱説明書 (取説)」のたぐいがついている．初めて使用する際は，それらに目を通すように心がけよう．では，その取扱説明書に沿って，CAL (校正，calibration) 端子 (このオシロスコープでは PROBE と表記) の電圧波形表示を行ってみよう．

[*1-1]EZ Digital は会社名で，OS–5020 は型番である．
オシロスコープを販売している会社は，他に，岩通，テクトロニクス，ヒューレット・パッカード (ヒューレット・パッカードの計測部門は，現在はアジレントテクノロジという会社になった)，リーダー，ケンウッドなどがある．
ハード系の会社に就職することを考えている人は，会社名を覚えておいた方がよい．
なお，学生実験では，横河のアッテネータじゃなくて，ケンウッドのアッテネータの方を使う，というような指示を出す．

実験課題 (各人が実行せよ)

(取扱説明書 22 ページ〜23 ページを参照)

1. 電源 OFF の状態で，オシロスコープのつまみを次のように設定する

   注意: オシロスコープはていねいに扱うこと (特に操作つまみ)

INTEN, FOCUS	中央	
AC/GND/DC (2 か所)	GND	
VOLTS/DIV (2 か所)	10mV	
×1/×5 (CH1) [B]	×1	
↕ POSITION (2 か所)	中央	
INV/NORM	NORM	
VARIABLE (2 か所)	右廻しいっぱい	(VOLTS/DIV の VARIABLE [F])
MODE (波形) [K]	CH1	
TIME/DIV	1ms	
CAL/VAR	CAL	
↔ POSITION	中央	
×1/×10 [Q]	×1	
MODE (波形・同期) [S]	AUTO	
TRIGGER SOURCE	CH1	
TRIG LEVEL	中央	
SLOPE	+	

2. プローブを CH1 に接続して電源を入れると，画面にトレース (線) が表示される.

   INTEN, FOCUS のつまみを調整すると，細く鮮明な線となる.

3. トレースと画面の目盛 (横線) が平行でないとき，TRACE ROTATION を廻して平行にする. (ドライバを使用)

4. つまみを次のように設定する.

AC/GND/DC (CH1)	DC
VOLTS/DIV (CH1)	0.2V
TIME/DIV	0.5ms

5. プローブを PROBE ADJ 端子に接続する.

6. 観測している波形が正しいか否か，教官に確認してもらう.

1.4　オシロスコープの操作

前節 (第 1.3 節) の操作練習だけでは，オシロスコープを使いこなすことは難しい．この章では，オシロスコープのつまみの意味を実験を通して少し観察してみることを行う．

1.4.1　つまみの初期位置

計測機器では，つまみの初期位置に注意[*1-2]する必要がある．

オシロスコープにおいては，どのような波形を計測するか全く分からない場合は，表 1-1 と表 1-2 の位置につまみを合わせた後に,「VOLTS/DIV」と「TIME/DIV」を合わせると良い場合が多い．

表 1-1 のつまみは，一般的な使用法を行う時は，初期位置から動かさないつまみである．

表 1-2 のつまみは，必要に応じて操作する必要のあるつまみである．

OS–5020 の表記	操作
CH1 と CH2 の VOLTS/DIV の VARIABLE	CAL 側 (右まわし) へ
VARIABLE (TIME/DIV) [P]	CAL 側へ
CAL/VAR [Q]	CAL
MODE (波形・同期) [S]	AUTO
×1/×5 [B]	×1
×1/×10 [Q]	×1

表 1-1 つまみの初期位置 (初期位置から動かすことが少ないもの)

OS–5020 の表記	操作	関連箇所
CH1 と CH2 の VOLTS/DIV	20V	垂直系
CH1 と CH2 の ↕ POSITION	中央	
AC/GND/DC	DC	
POLARITY ▁ INV/ ▆ NORM	▆	
TIME/DIV	.2SEC	水平系
↔ POSITION	中央	
TRIG LEVEL	中央	
TRIGGER SOURCE	CH1	
INTEN	右回しいっぱい	表示系
FOCUS	中央	

表 1-2 つまみの初期位置 (必要に応じてつまみを動かすもの)

実験

1. オシロスコープのつまみを表 1-1 と表 1-2 の状態にせよ．また，どのような表示になるか，観察せよ．

[*1-2] つまみの初期位置を間違えると計測に手間取ることや間違ったデータを取ってしまうことがある．また，機器によっては，つまみの初期位置を間違えると稀に壊れることがある．

1.4.2　時間軸 (横軸，水平系) について

時間軸の設定とは　前節 (第 1.4.1 節) の実験のように，点が左から右に移動することを**掃引 (そういん，sweep)** するという．

前節の設定値「0.2 [SEC/DIV]」であれば，2 秒 (= 0.2 [SEC/DIV] × 10 [DIV]) かけて，グリッド (grid，格子模様) の左端から右端までを移動している．

なお，**「OS–5020」は，1DIV(1 目盛) が 10mm** [*1-3]である．

実験

1. 前節 (第 1.4.1 節) の実験では，左端から右端まで，点が 2 秒間で移動している．このことを大雑把でよいので確認せよ (計測方法は，班員全員で創意工夫の上で解決し，その確認手順をレポートとせよ).
2. TIME/DIV の値を小さくすると，どのようになるか確認しレポートせよ．

つまり，**TIME/DIV のつまみは，一区切り (10mm) の移動時間の設定を行なうつまみである．**

波形の周期を読む　TIME/DIV の意味が理解できれば，波形の周期を読むことができる．

実験

1. PROBE ADJ 端子の電圧波形を表示せよ (1.3 章の実験を再度行なえ).
2. この波形の周期を読みとり，周期の読み取り方をレポートとして提出せよ．
   更に，↔ POSITION を変化させるとどうなるか観察し，レポートせよ．

1.4.3　電圧軸 (縦軸，垂直系) の設定

時間軸が TIME/DIV であったので，**「VOLTS/DIV」は電圧軸の一目盛あたりの設定であること**が，容易に想像できるだろう．

実験

1. PROBE ADJ 端子の電圧波形を表示せよ．
2. ↕ POSITION を変化させるとどうなるか?**入力を 0V の状態 (OS–5020 では AC–GND–DC を GND にする) にして，0V (GND) の位置を設定せよ．**
3. この波形の最大電圧値と最小電圧値を読みとり，読み取り方をレポートとして提出せよ．なお，プローブの設定が ×1 か ×10 かを注意せよ．**×10 の場合は，値を 10 倍して読み取る．**

1.4.4　表示 (表示系) の設定

波形をシャープに表示するには，INTEN，FOCUS のつまみを設定する．

実験

1. INTEN，FOCUS の各つまみを変化させ，その変化についてをレポートせよ．

[*1-3] 取説を参照のこと.「OS–5020」では 8 ページに記載がある．1DIV が 10mm でないオシロもある．

1.4.5　トリガとは

今までの操作では，**TRIG LEVEL**，**MODE**，**TRIGGER SOURCE** というトリガに関するつまみの解説がまだ終わっていない．

このトリガ (trigger) には,「きっかけとなる」という意味がある．オシロスコープでの**トリガは，掃引を開始するきっかけを作るための仕組み (装置)** である．

オシロスコープを自在に使いこなすためには，**トリガをうまく使いこなすことが重要**である．このトリガを理解するためには，オシロスコープの動作をほとんど理解しないと難しいため，次章 (1.5 章) にて解説する．

1.5　オシロスコープの動作

1.4 章の内容を理解すれば，一通りのオシロスコープの操作は可能である．しかし，十分に使いこなすには，まだまだ不十分な点がある．

オシロスコープがどのような動作を行なっているか，ファンクション・ジェネレータという装置を用いながら，以下の実験を通して観察してみよう．

1.5.1　ファンクション・ジェネレータの使用法

オシロスコープの動作を観察するには，PROBE ADJ 端子の出力では不十分である．

そのため，**ファンクション・ジェネレータ (Function Generator**[*1-4]**)** という，**正弦波，矩形波，三角波などの電圧波形を発生する機器**を用いる．

オフセットなし (直流成分なし) の正弦波の発生方法についてのあらましを表 1-3 に示す．

操作の意味	Agilent 33120A での操作
波形を正弦波とする	正弦波マークのボタンを押す
周波数を設定する	Freq ボタンを押してディスプレイ横のダイアルを回す 桁は，<> ボタンで変える
振幅を設定する	Ampl ボタンを押して設定 (以下，Freq の場合と同様)
OFFSET を OFF にする	Offset ボタンを押して，値を 0 に設定する

表 1-3 ファンクションジェネレータの設定 (正弦波の発生)

1.5.2　正弦波の発生と測定

ファンクションジェネレータの操作とオシロスコープの操作が正しくできるか，実験を通して確かめてみよう．なお，33120A の初期状態では，設定した Ampl の振幅 (p-p) 通りには波形が出ない[*1-5]．

実験

1. 1kHz，$1V_{p-p}$，オフセットなし (直流成分なし) の正弦波をオシロスコープで観察しながら，ファンクションジェネレータで生成せよ．

[*1-4]Function Generator を FG と略する人がいるが，省略する場所によっては，適切でない場合がある．これは，Frame Ground を FG と省略することもあるためである．

[*1-5]理由は，終端抵抗が無いためである．出力に終端抵抗 50Ω を取り付けるか，終端抵抗を取り付けない場合は，Shift, Enter, >, >, >, ∨, ∨, >, Enter などと操作しなければ表示している電圧を出力しない．

1.5.3　オシロスコープの動作の観察

以下の実験を行い，オシロスコープの表示が点の集合であることを確認せよ．

実験

1. 1Hz，$2V_{p-p}$，オフセットなし (直流成分なし) の正弦波をオシロスコープで観察せよ．その際に，オシロスコープの TIME/DIV は，0.2 [SEC/DIV] を用いよ．

点が正弦波を描きながら，ゆっくりと左から右に掃引している．今まで観測してきた波形は，この点の集合 (目の残像やブラウン管の残光) を観測していたのである．4Hz の正弦波を 50 [mSEC/DIV] で観察すると，残光の様子が観察できる (人の目の残像効果もあるため，観察しやすい値に個人差があるかもしれない).

1.5.4　同期とトリガ

さて，オシロの実験も大詰めである．もう一度，1Hz の波形を観測してみよう．

実験

1. 1Hz，$2V_{p-p}$，オフセットなし (直流成分なし) の正弦波をオシロスコープで観察せよ．その際に，オシロスコープの TIME/DIV は，0.2 [SEC/DIV] を用いよ．
2. 書きはじめている最初の点が見えるように，↔ POSITION を若干右に回せ．
3. 描画を開始している点がどのようになっているか，観察せよ．

描画を開始する点が図 1-2 のようにばらばらになっていると思われる (ばらばらになっていない場合は教官に連絡せよ).

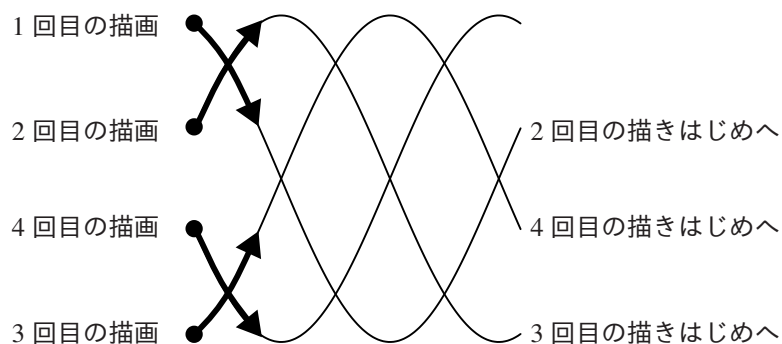



図 1-2　同期がとれていない時の描画

これが，1kHz の波形の場合はどのように見えるか，次の実験で観測せよ．

実験

1. 1kHz，$2V_{p-p}$，オフセットなし (直流成分なし) の正弦波をオシロスコープで観察せよ．その際に，オシロスコープの TIME/DIV は，0.2 [mSEC/DIV] を用いよ．
2. TRIG LEVEL のつまみが中心にあるときは静止していることを確認せよ (この状態を**同期している or 同期がとれている or トリガがかかっている** 状態という).
3. TRIG LEVEL のつまみを右にいっぱいに回し，波形が安定して表示されない状態を確認せよ (この状態を**同期がとれていない or 同期が外れた or トリガがかかっていない** 状態という).
4. 同期がとれていない状態で，TIME/DIV のつまみを変えるとどのように表示が変わるか観察せよ．

1.5.5　同期とトリガふたたび

同期がとれている状態のとき，オシロスコープは，図 1-3 の破線内の波形の表示を行っている．破線の囲み以外の部分では，掃引を行っていない．

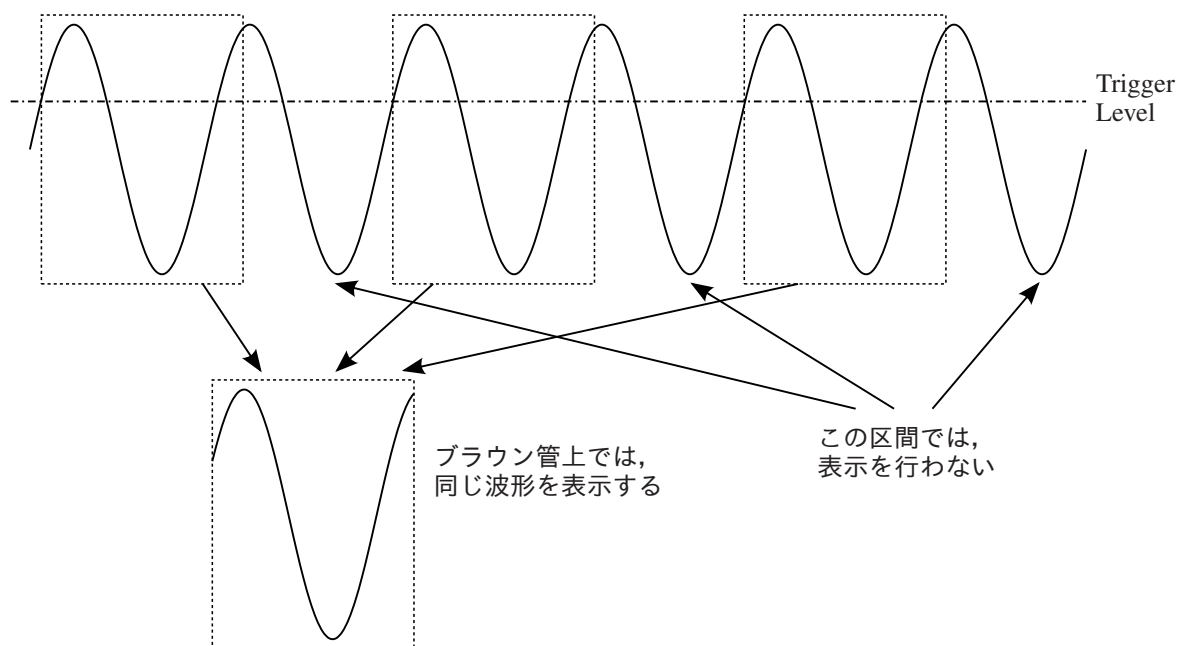



図 1-3 同期をとっている様子

そのタイミングをとっている様子を演示 (教官によるデモンストレーション) を行うので，各自観察せよ．

1.6　レポート課題，その他

レポート課題

1. オシロスコープとは何を行う装置かレポートにまとめよ．
2. オシロスコープの操作法について，自分なりにまとめよ．
3. オシロスコープの仕組みについてレポートにまとめよ．

1.6.1　オシロスコープの試験での持ち込み可能物品についての予告

試験の時に持ち込みが可能なものについては,「筆記用具 (定規類を含む)」,「電卓」,「今回の実験で作成したレポートのコピー」とする．

「本テキストの持ち込みは不可」とし,「他人のレポートのコピーも不可」である．なお,「オシロスコープの取扱説明書は，試験中に閲覧することができる」こととする．

第 2 章　電子部品 1 (抵抗の基礎実験)

2.1　目的

抵抗器の材料や製法について分類し，抵抗値の精度やその他の特性との関連について調べる．また，抵抗器による分圧や分流の法則を実験により確かめる．

2.2　抵抗値の求め方

図 2-1 のように既知の抵抗器と未知の抵抗器を直列に接続し，その両端に電圧を加える．次に各抵抗の端子間の電圧を測定する (同じテスタで測定)．電流は 2 つの抵抗において等しいので，オームの法則により，電圧の比と抵抗値の比は等しい．よって，

$$R_2 = \frac{V_2}{V_1} R_1 \qquad (2\text{-}1)$$

となる．

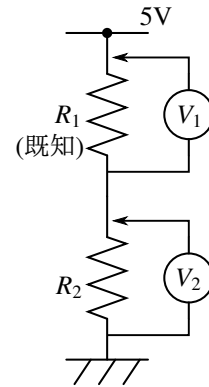



図 2-1 抵抗値の測定回路

2.3　抵抗器の材料と製法

2.3.1　炭素皮膜抵抗器

円筒状のセラミックに炭素皮膜を着せたもの．炭素皮膜に溝切を施し，螺旋状の抵抗体の幅と長さを調整して目的の抵抗値を実現する．

2.3.2　金属皮膜抵抗器

炭素皮膜抵抗器の炭素皮膜を金属 (Ni–Cr : ニッケル–クロム) の皮膜に替えたもの．炭素皮膜抵抗器より精工で抵抗値の精度が良く，温度係数 (温度に対する抵抗値の変化量) が小さく，電子の熱運動による雑音も小さい．

2.3.3　酸化金属皮膜抵抗器

抵抗の大きな酸化金属 (錫およびアンチモン系) 皮膜を用いることで，抵抗体の幅を広くでき，比較的大きな電力で使用できる．

2.3.4　金属箔抵抗器

金属箔をレーザにより高精度でトリミングするため，抵抗値の精度が最も良い．

2.3.5　巻き線抵抗器

セラミックやガラスなどの芯に，抵抗線を螺旋状に巻付けたもの．抵抗線の材料，断面積，長さを調整し，所望の抵抗値と定格電力を実現する．

2.3.6　セメント抵抗器

巻き線抵抗器や酸化金属皮膜抵抗器をセラミック製のケースに入れ，セメントで封じたもの．不燃性のため，高温時にも発火しない．

2.4　ブレッドボードについて

図 2-2 は，ブレッドボードの一部を描いたものである．

この図のように，ブレッドボードの穴に抵抗やコンデンサの素子を差し込んで，回路を作成していく．

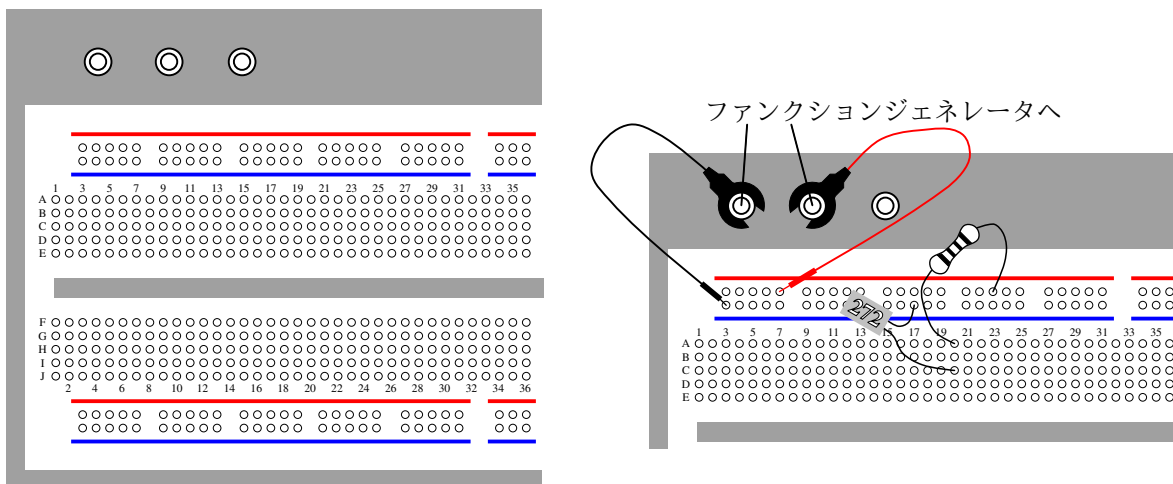



図 2-2 ブレッドボード

このブレッドボードの穴は，ある規則性をもって，他の穴と導通している．

- An, Bn, Cn, Dn, En (n は 1〜64 の整数) の穴の間には，導通がある．
- Fn, Gn, Hn, In, Jn (n は 1〜64 の整数) の穴の間には，導通がある．
- 赤の線と青の線の間にはさまれている穴は，横同士で導通がある．
- En, Fn (n は 1〜64 の整数) の穴の間には，導通が無い．
- $Xn, Xn+1$ (n は 1〜63 の整数，X は A〜J のアルファベット) の穴の間には，導通が無い．

以上を図面で表すと図 2-3 のようになる．

図 2-3 ブレッドボードとケーブル

2.5 抵抗値の精密測定

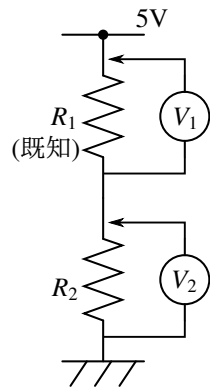
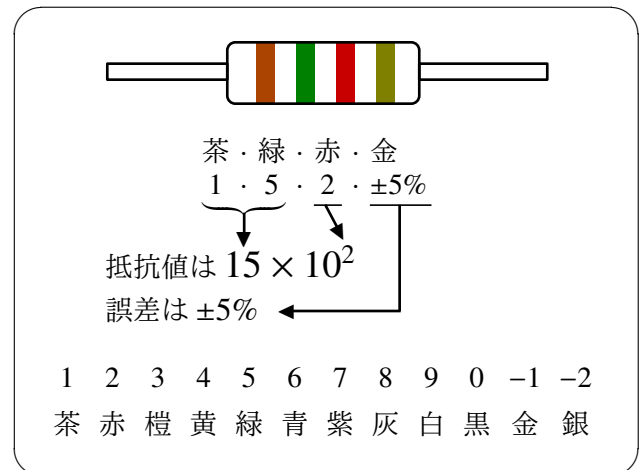



図 2-4 抵抗測定回路

カラーコード表

既知の抵抗値 R_1 は 1.000kΩ とし，金属箔抵抗器を使用する．様々な抵抗器についてその抵抗値 R_2 を式 (2-1) より求めよ．

	抵抗表示 [Ω]	誤差表示 [%]	V_1 [V]	V_2 [V]	R_2 [Ω]	相対誤差 [%]
炭素皮膜	10					
	22					
	33					
	1.2k					
	2.2k					
	3.3k					
金属皮膜						
酸化金属皮膜						
巻き線						
セメント						

○ 表示値からの相対誤差を求め，表示の誤差範囲に入っているか確認せよ．

○ 測定値 V_1，V_2 の測定精度から，R_2 の精度を予測せよ．

○ 直接テスタで抵抗値を測定する方法と本方法との差異について検討せよ．

2.6　分圧の実験

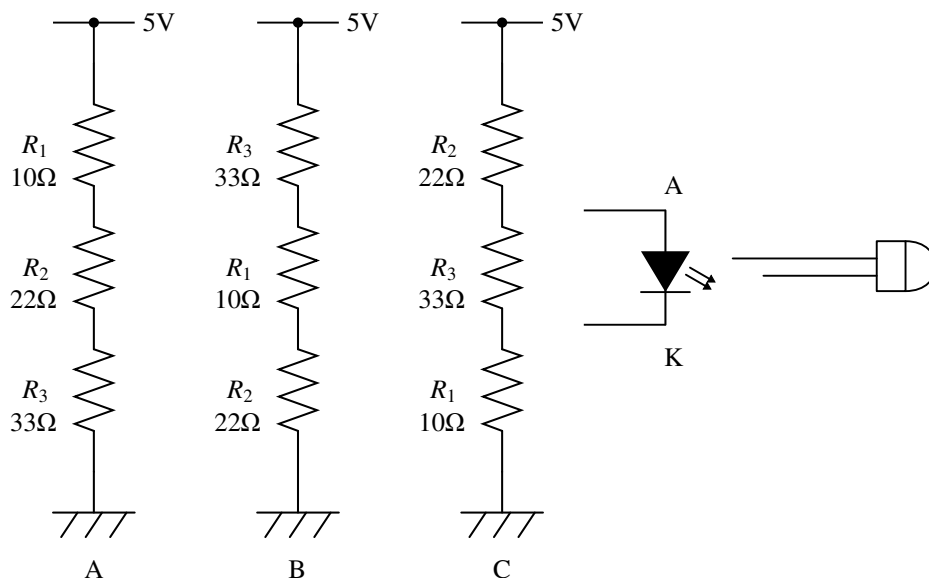



図 2-5　分圧実験回路

図 2-5 の様に 3 種の抵抗器を直列に接続し，それぞれの抵抗器の両端に電圧計を接続する．抵抗器の両端の電位差を測定せよ．発光ダイオードはアノード (A) の電位がカソード (K) より 1.7 [V] 高いとき電流が流れて発光する．抵抗器の両端に発光ダイオードを接続し，発光するか調べよ．

	R_1 にかかる電圧	R_2 にかかる電圧	R_3 にかかる電圧	電圧の和
回路 A				
回路 B				
回路 C				

2.7　分流の実験

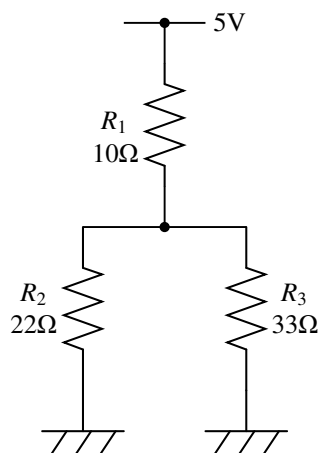



図 2-6　分流実験回路

図 2-6 の様に回路を組み，R_1～R_3 の各抵抗器にかかる電圧を測定し，以下の表に結果をまとめよ．

抵抗器	R_1	R_2	R_3
抵抗値			
電圧			
電流			

○ 電流値を検討し，分流の法則を導け．

2.8　交流の電圧・電流に対する抵抗の測定

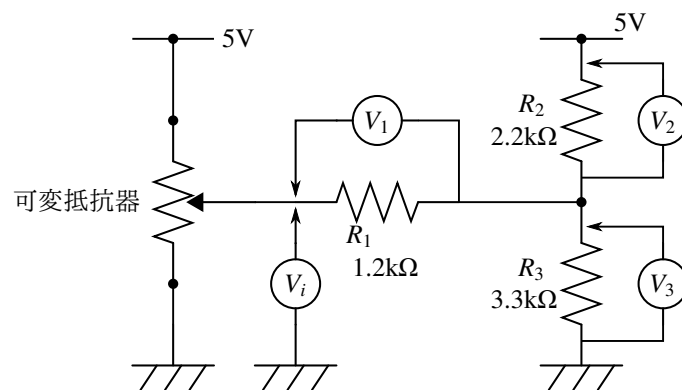



図 2-7 交流抵抗の測定

図 2-7 の様に回路を組み，V_i を 0〜5 [V] の間で変化させ，その都度 V_1〜V_3 の各電圧を測定し，以下の表にまとめよ．

抵抗器	R_1	R_2	R_3
抵抗値			

V_i						
V_1						
V_2						
V_3						
I_1						
I_2						
I_3						

○ V_i に対する I_i (= I_1) をグラフに表し，その直線の傾きを求めよ．

○ 直線の傾きを理論的に導き，実験値と比較せよ．

[使用器具] テスタ (VOAC787 など)，直流電源 (541C など)，ブレッドボード

[参考文献] トランジスタ技術編集部 編「わかる電子回路部品完全図鑑」CQ 出版社

第3章　電子部品2 (コンデンサとコイルの基礎実験)

3.1　目的

参考図書 [1] に示されるように，電子部品には非常に多くの種類がある．電子回路で使用するには，これらの部品の性能や性質を知っておく必要がある．ここでは，基本的な電子部品であるコンデンサ，コイルについて実験を行い，これらの電子部品の性質を確認する．また，材質，耐圧，精度などについて学ぶ.

3.2　使用器具

表 3-1　使用器具リスト

種　類	台　数	型　番
オシロスコープ	1 台 (班)	EZ Digital OS–5020
直流電源	2 台 (班)	METRONIX 523B など
Function Generator	1 台 (班)	
電子部品	1 セット (班)	

3.3　コンデンサとコイルの概要

3.3.1　コンデンサについて

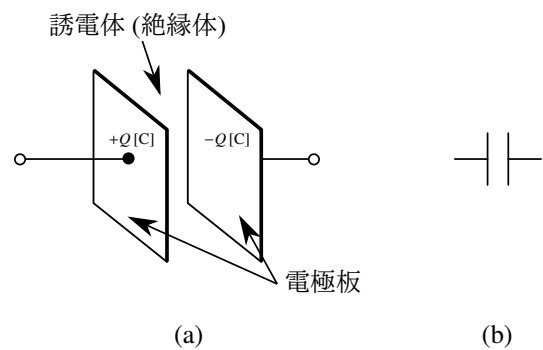
導体に電荷を与えると，導体には電位が生じる．導体の静電容量を C，電荷を Q，電位を V とすると，これらの間には次の式で示す重要な関係がある．

$$Q = CV \tag{3-1}$$

静電容量 (略して「容量」とも言う) とは，電荷を蓄える能力を表す．単位は，F(ファラド) を用いる．すなわち，導体に静電容量を持たせることを目的に作られた電子部品がコンデンサである．コンデンサは，電気を蓄えることのほかに直流電流を遮断し交流電流を通過させる目的で使用される．

図 3-1　コンデンサの基本構造と記号

コンデンサは，2 枚の電極板を向かい合わせた構造が基本的な形である (図 3-1(a))．この 2 枚の電極板間に誘電体 (絶縁物) を入れ，コンデンサを作る．この誘電体の材質により，いろいろな種類のコンデンサがある ([1]p.9 参照)．特別な誘電体を使用せず，空気を誘電体とするコンデンサもある．なお，回路図中でコンデンサは図 3-1(b) の記号を用いて表す.

コンデンサ容量は，部品メーカによって表示方法が異なるが，一般的には 3 桁の数字で表示される．この場合，最初の 2 桁が容量を，3 桁目が乗数を表す．表示の単位は，pF(ピコファラッド) である．例えば，103 と表示されている場合，10×10^3 = 10000pF = 0.01μF となる．また，100pF 以下の場合は，容量がそのまま表示されていることがある．例えば，47 としか表示されていない場合は，47pF を表す ([1]p.13 固体タンタルコンデンサ参照)．このように，表示方法が異なるので注意する必要がある．特に, 回路図では単位を省略する場合も多いので，数値で単位を判断する．

その他，コンデンサには耐電圧が表示されている．コンデンサの種類により耐電圧は異なり，耐電圧以上の電圧をコンデンサの端子間に加えると，コンデンサは破損する．また，電解コンデンサ ([1]p.14 電解コンデンサ参照) などのように，極性 (プラス端子とマイナス端子) があるコンデンサもある ([1]p.15 参照)．この場合も，極性を間違って接続すると，コンデンサは破損する．

3.3.2 コイルについて

コイル ([1]p.29 参照) とは，導線を筒形または平面螺旋形などに巻いたものである．適当なインダクタンスをもたせて回路素子として使用する．また，変圧器やモーターなどの電気装置に組み込んでも使用される．

導線を巻く回数が多いほど，コイルの性質の度合を表す単位のヘンリー (H) の値は大きくなる．また，コイルは中空のものより，鉄の棒 (鉄心) に巻いたり，コアと呼ばれる鉄粉 (またはフェライト) を固めたものに巻いた方が，より大きなヘンリー値が得られる．

コイルは，インダクターとかインダクタンスと呼ばれることがある．厳密には，インダクタンスはコイルの性質の度合を表し，部品を表す言葉ではない．同じように，コンデンサの場合はキャパシタンス，抵抗の場合はレジスタンスという言葉が，それぞれの性質の度合を表す．

近接しておかれた 2 つのコイルうち，1 つのコイルに流れる電流が変化すると，相互誘導作用により他方のコイルに起電力が誘導される．この原理を応用したものが，変圧器 (トランス) で，電柱の上にのっているのをよく見かける．また，この相互誘導作用の程度を，相互インダクタンスと呼ぶ．コイルが 1 つだけの場合でも，自分の発生する磁束の変化が自分自身に影響を与える．これを，自己誘導作用と呼び，その程度を自己インダクタンスと呼ぶ．単位は，いずれもヘンリー (H) を用いる．

3.4 実験

3.4.1 コンデンサの実験

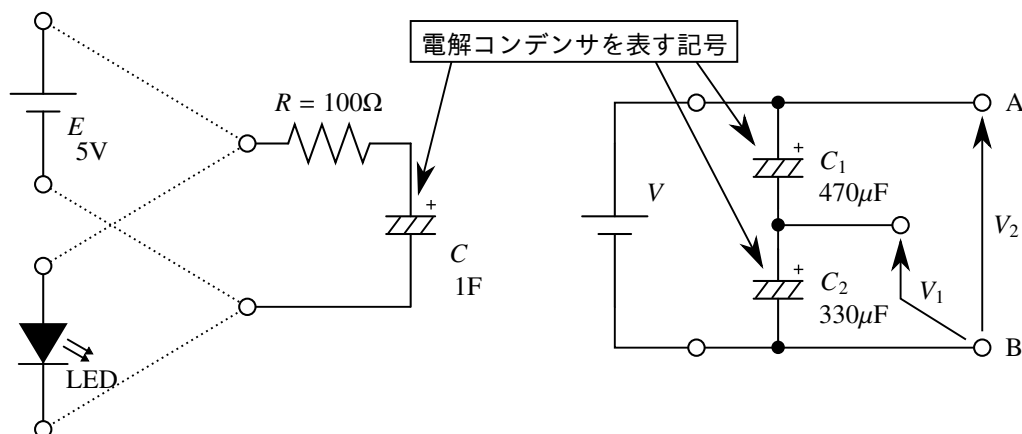



図 3-2 コンデンサの充電実験回路

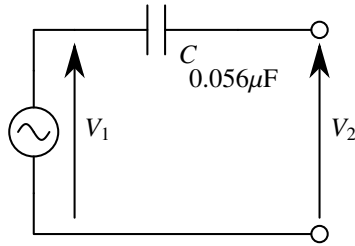



図 3-3 コンデンサの直流カット実験回路

コンデンサの実験

コンデンサの破壊実験

この実験で，分解したコンデンサは，ゴミ箱に捨てること．

1. 電解コンデンサ (220μF) をニッパーを使って分解せよ．コンデンサの構造がどの様になっているか，ノートに描いておくこと．この実験のみ，班の代表者 1 名が行う．電解液が入っているので，分解後には手を洗うこと．

コンデンサの充電実験手順

1. 基本回路 (図 3-2(a)) をもとに，ブレッドボード基板 (以下，基板とする) 上に回路を組み立てる．
2. はじめに，直流電源を接続し，電気二重層コンデンサ ([1]p.18 参照) を 5 [V] で 15 秒間充電する．電源の+端子をコンデンサの+端子に，電源の − 端子をコンデンサの − 端子に接続する．このコンデンサは，極性に注意すること．抵抗 R は，電源保護用である．
3. 直流電源を取り除き，赤色発光ダイオード (LED : [1]p.114 参照) を接続する．LED にも極性があるので注意すること．リード線 (金属線) の長い方を，電源の+側に接続する．
4. LED を点灯させ，コンデンサに電荷が蓄えられているのを確認する．LED が消灯するまでの時間を測定せよ. 消灯まで 30 分程度かかるので，点灯したまま以下の実験を行うこと．
5. 図 3-2(b) の回路を基板上に組み立てる．C_1，C_2 の電解コンデンサの両端の電圧 (V_1, V_2) をオシロスコープで測定せよ．その際，直流電源電圧 V を，0 [V] から出発し 5 [V] になるまで，ゆっくりと変化させよ．最初から 5 [V] の電圧を加えないこと．
6. LED (点灯中の LED 以外の新たな LED) を A–B 間に接続し，LED が瞬間，点灯することを確認する．この場合も，LED の極性に注意すること．

コンデンサによる信号変化の実験手順

1. ファンクション・ジェネレータから 2 [$\mathrm{V_{p-p}}$] の正弦波で，オフセット (直流成分) が 1 [V] の波形を出力し，オシロスコープで観察せよ．周波数は，1 [kHz] とする．
2. 図 3-3 をもとに，基板上に回路を組み立てる．
3. 回路の入力端子に，先程の発振器の信号を加える．V_1, V_2 の波形をオシロスコープで観測し，グラフ用紙にまとめる．各々の波形の GND の位置を示すこと．

3.4.2　コイルの実験

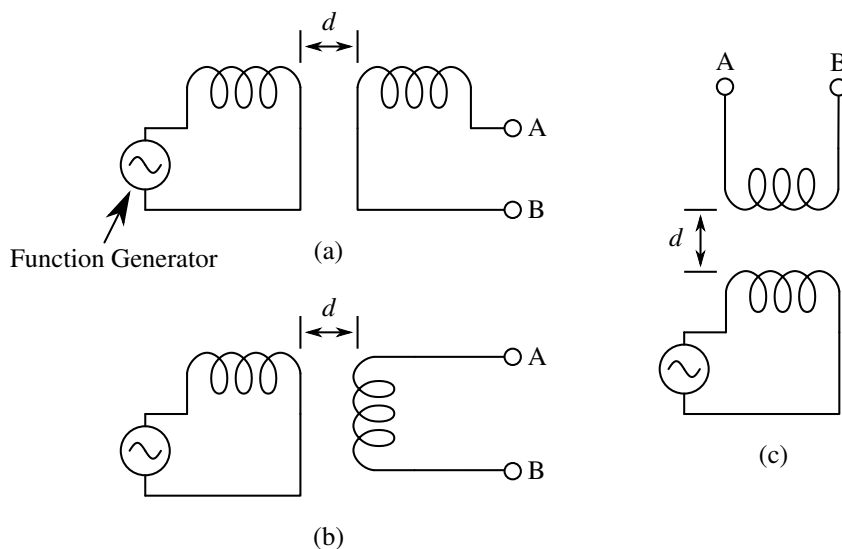



図 3-4 コイルによる信号変化の確認実験回路

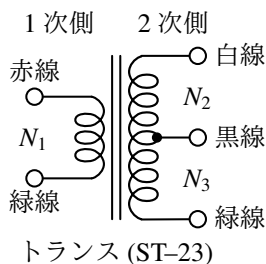



図 3-5 トランスの巻き数比の実験回路

コイルの実験

コイルよる信号の変化

実験で使用するコイルは，ネジ型 ([1]p.29 参照) の 2 種類である．形は同じであるが，インダクタンスが 1.8μH (小さい方: 約 1.5cm)，5.1μH (大きい方: 約 2.0cm) である．

1. ファンクション・ジェネレータから 5 [V_{p-p}] の正弦波を出力し，オシロスコープで観察せよ．周波数は，1 [kHz] とする．
2. 図 3-4 をもとに，基板上に順次 (a)〜(c) の回路を組み立てる．
3. 発振器の出力端子とコイルの A–B 間をオシロスコープで観測し，波形をグラフ用紙にまとめる．間隔 d を変化させたとき，コイル A–B 間の波形は，どの様になるか観察せよ．出力波形の振幅が小さいので，オシロスコープの position のつまみを引き，観測される波形が ×5 になるようにして観測せよ．それでも振幅が小さいときは，プローブの設定を ×1 で観測せよ．

トランスの巻数比の実験手順

1. 図 3-5 を参考に，トランス (Sansui ST-23) の 1 次側 (赤–緑間) に入力電圧 (2 [V_{p-p}]，1 [kHz] の正弦波) を加え，2 次側 (緑–白線間，緑–黒線間，黒–白線間) の出力電圧をオシロスコープで観察せよ．
2. グラフ用紙に波形を写し取り，入出力電圧の比から，巻数比を計算せよ．

3.5 結果の整理と調査

1. コンデンサの実験結果を整理し，その結果から考えられることをまとめよ．
2. コンデンサ容量の誤差と定格電圧は，コンデンサ部品にどのように記述されているか，調べよ．
3. コンデンサを回路で使用する時，コンデンサの両端にかける周波数をどの程度高くできるかという周波数特性が重要である．高周波用に使われるコンデンサ，低周波用に使われるコンデンサ，低雑音用に使われるコンデンサには，どの様な種類のコンデンサがあるか調べよ．
4. コイルの実験結果を整理し，その結果から考えられることをまとめよ．
5. レンツの法則について調べよ．この性質は交流を直流に変換する回路で用いられる．この回路の名称は何回路か．また，この回路について調べよ．
6. 可視光 LED には，5 種類の色がある．色の種類を調べよ．2005 年 1 月に青色発光ダイオード訴訟の和解が成立した．この和解額について，あなたはどの様に思うか．

レポートの採点基準

このレポートは，10 点満点で採点される．結果の整理と調査の項目において，番号 1，4，6 は各 2 点で，番号 2，3，5 およびレポートのまとめ方を各 1 点で採点する．特に，あなたの考えが述べられている方が，レポート点を高く評価する．

参考図書

例えば，

「プログラム学習による基礎電気工学：直流編」末武国弘，廣済堂出版，1 年次教科書

「作って学ぶ電子回路工作入門」井上誠一，総合電子出版社

「誰にでも手軽にできる電子工作入門」後閑哲也，技術評論社

など．

図書館に，その他関連図書が多数あるので参考にすること．

参考文献

[1] トランジスタ技術編集部 編「わかる電子回路部品完全図鑑」，CQ 出版社，1998.6.1

第4章　コンデンサの特性測定 (RC 直列回路)

4.1　目的

計測機器の使用方法を習得し，実験の進め方を学習する．同じ内容の計測を行うにも複数の手法があることを体験する．

4.2　実験概要

実験概要

- コンデンサ (図 4-1) は，

$$V_C(t) = \frac{1}{C}\int I(t)dt$$

で定義される素子である．

- コンデンサに正弦波交流を流すと，電流に対し電圧が 90 度遅れることを実験を通して確認せよ．
- (参考) 瞬時値で表現すると，図 4-2 の特性を持った素子である．
- (参考) ベクトルで表記すると，図 4-3 の特性を持った素子である．

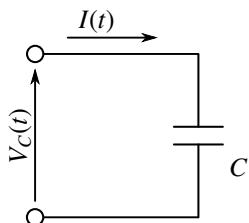



図 4-1　コンデンサの定義

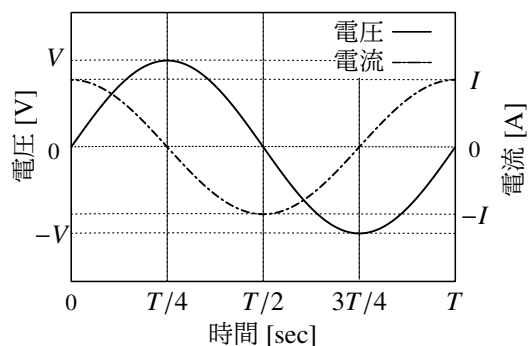



図 4-2　コンデンサの電圧と電流の位相関係 (瞬時値)

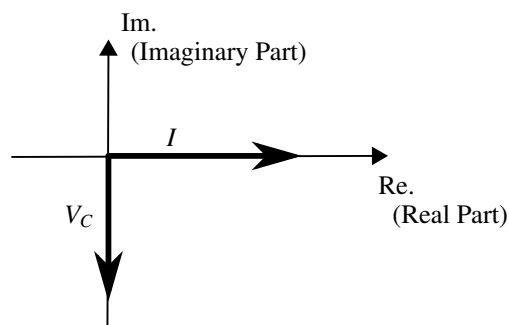



図 4-3　コンデンサの電圧と電流の位相関係 (ベクトル)

今回の実験では，RC 直列回路を用いての位相計測を行う．その実験手法を 4 通り準備した．

1. そのまま計測する方法.
2. 同じ RC 直列回路を二組用いる方法.
3. トランスを用いる方法.
4. 計測点を工夫して，ベクトル図を利用する方法.

この 1～4 の実験について，次の分担で実験を行え．

- 3 人班では，1～3 を一人ずつが担当して実験し，4 の実験は，1 の回路をそのまま用いて全員で行う．
- 4 人班では，1～4 を一人ずつが担当して実験する．

4.3　実験

実験 1 (そのまま計測する方法)

図 4-4 は，教科書などでみかける回路である．$V_R(t)$ と $V_C(t)$ の値を測定し，その位相関係を求めよ．

なお，この回路では，波形がブレるなど，正確に測定できないことがある．(オシロスコープのコンセントを反対向きに差し替えると計測結果が変わる場合もあるなど，不安定な測定手法である)．

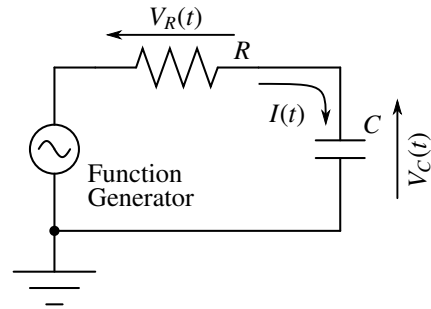



図 4-4　実験回路

実験 2 (同じ RC 直列回路を二組用いる方法)

同じ RC 直列回路を用いれば，流れる電流は，$I(t)$ で同じである．

つまり，図 4-5 中の $V_R'(t) = V_R(t)$ の関係が成立する．よって，$V_R'(t)$ と $V_C(t)$ の値を測定し, その位相関係を求めよ．

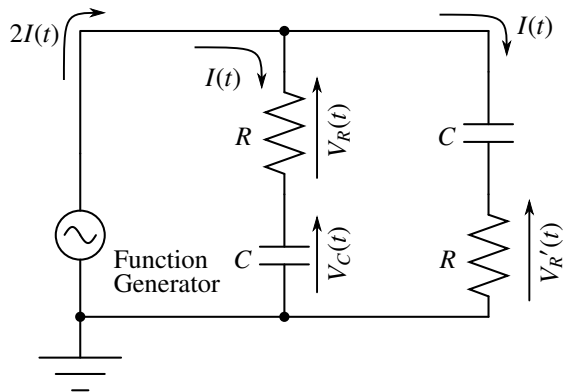



図 4-5　実験回路

実験 3 (トランスを用いる方法)

図 4-6 の回路を用いて，$V_R(t)$ と $V_C(t)$ を測定し位相差を求めよ．その際に，ファンクションジェネレータの GND とオシロスコープのグランドを結線し，波形のブレがない状態にせよ．

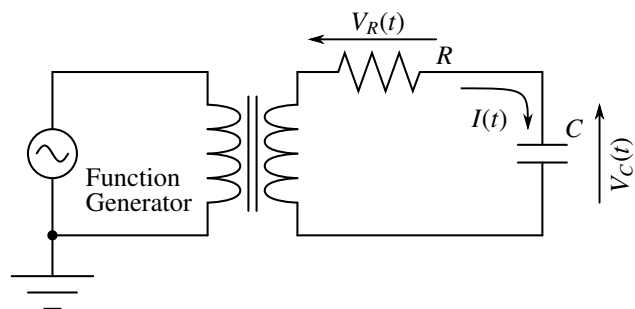



図 4-6　実験回路

実験 4 (計測点を工夫して, ベクトル図を利用する方法)

図 4-8 の回路を用いて，$V(t)$ と $V_C(t)$ を測定せよ．

図 4-7 の関係を用いて，$V_R(t)$ を求め，その $V_R(t)$ と $V_C(t)$ の位相関係を求めよ．

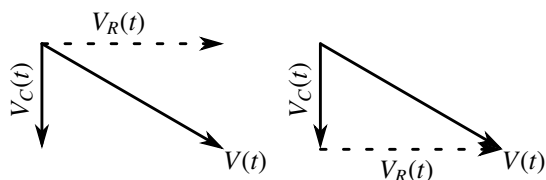



図 4-7 実験回路のベクトル図

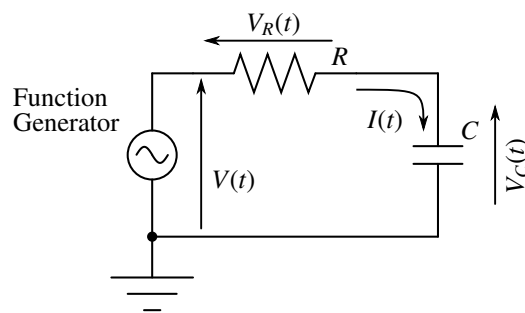



図 4-8 実験回路

4.4 実験に関する共通事項

R は，50Ω〜1MΩ の間で任意に選べ．

C は，値は任意でよいが，種類はフィルムコンデンサ (柿色のコンデンサ) を用いよ．

測定は，オシロスコープを用いて (4.5 章〜4.7 章を参照) 測定せよ．

回路は，ブレッドボード (2.4 章を参照) 上に組み立てよ．

4.5 オシロスコープの使い方 (2 現象計測と位相測定)

オシロスコープの OS–5020 は，MODE を DUAL にすることによって，2 点の電位を同時に計測できる．この表示を用いて，位相差を観測することができる．

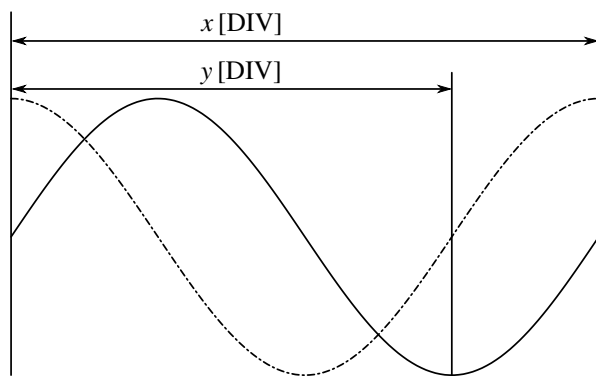



図 4-9 位相の測定

余談

以下の表現は全て同じことを表現している．混乱しないように．

- 電流が電圧に対し，270 度遅れている．
- 電圧に対し，電流が 270 度遅れている．
- 電圧に対し，電流が 90 度進んでいる．
- 電流に対し，電圧が 90 度遅れている．
- 電流に対し，電圧が 270 度進んでいる．

例えば，図 4-9 の結果が得られた時は，位相差 $= 360 \times \frac{y}{x}$(度) で求められる．この場合は，実線の波形に対し，破線の波形が 270 度遅れている．

4.6 回路とオシロスコープとの結線について

一般的なオシロスコープとプローブの組み合わせでは．次の制約がある．

- 時間に対する電圧の変化しか計測できない[*4-1]ため，抵抗の電圧降下を計測して電流を求める．
- 二つの電圧波形を同時に計測 (2 現象計測) するときは，一つの基準電圧に対する 2 点の電位しか計測できない (任意の 2 つの電位差を計測することはできない)[*4-2]．

そのために，今回の回路を測定する場合は次のように行う．

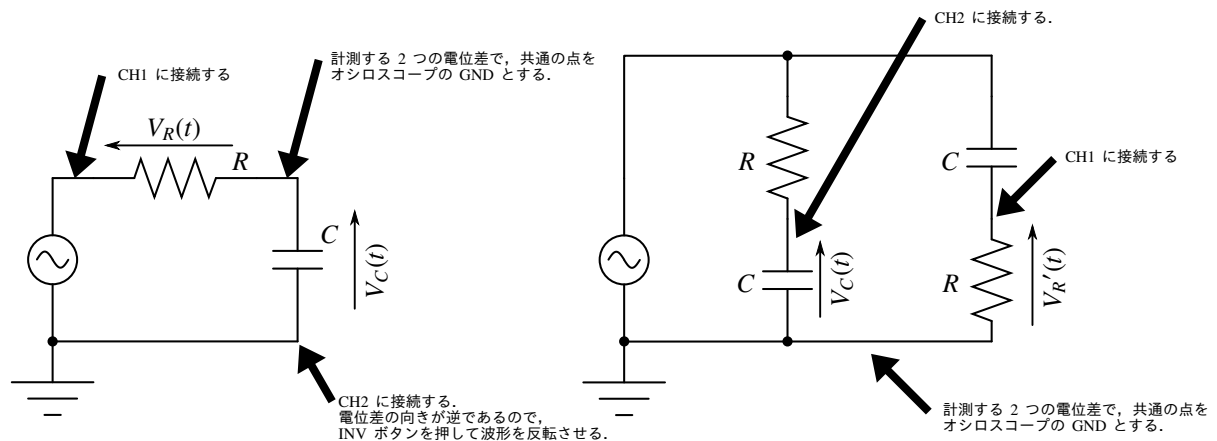
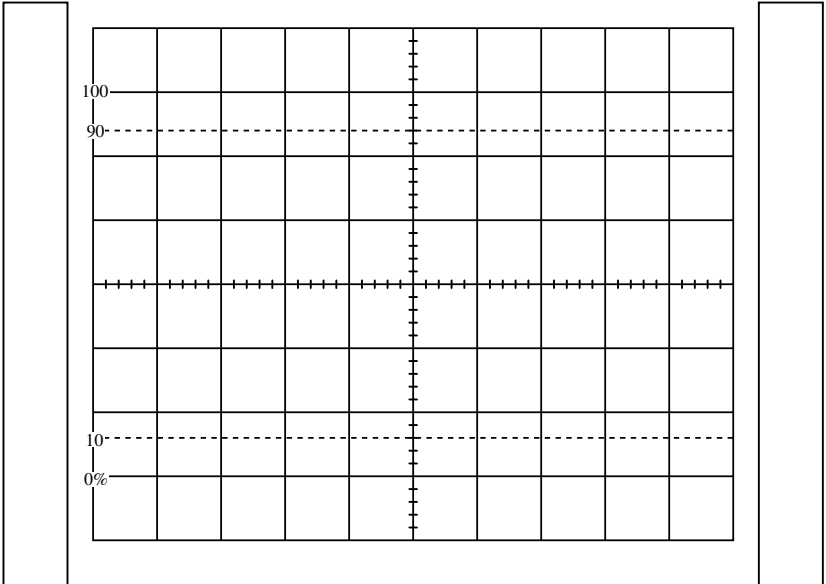



図 4-10 オシロの結線について

[*4-1]電流の変化 $I(t)$ は，直接計測できない．直接，電流を計測するときは，電流計測プローブを使用する．
[*4-2]任意の 2 つの電位差を測定したい場合は，差動プローブや絶縁 (アイソレーション) プローブを使用する．

4.7　オシロスコープの記録の取り方

オシロスコープの波形を記録する際は，本学生実験では，図 4-11 の形式の用紙に記入することとする．この用紙は，実験室の箱の中に準備してある．

図 4-11 記録用紙

記録用紙の使い方は，図 4-12 に示す．波形を記録する際は，波形を見たまま記録せよ．

誤差などの要因があり，想定する結果が得られないことが多々ある．この場合は，実験記録として，あるがままのデータを記録する．

そして，必要に応じ，考察で，誤差要因を取り除いた (誤差を考慮した) データを改めて示す．

<4. コンデンサの特性測定 (RC 直列回路)>

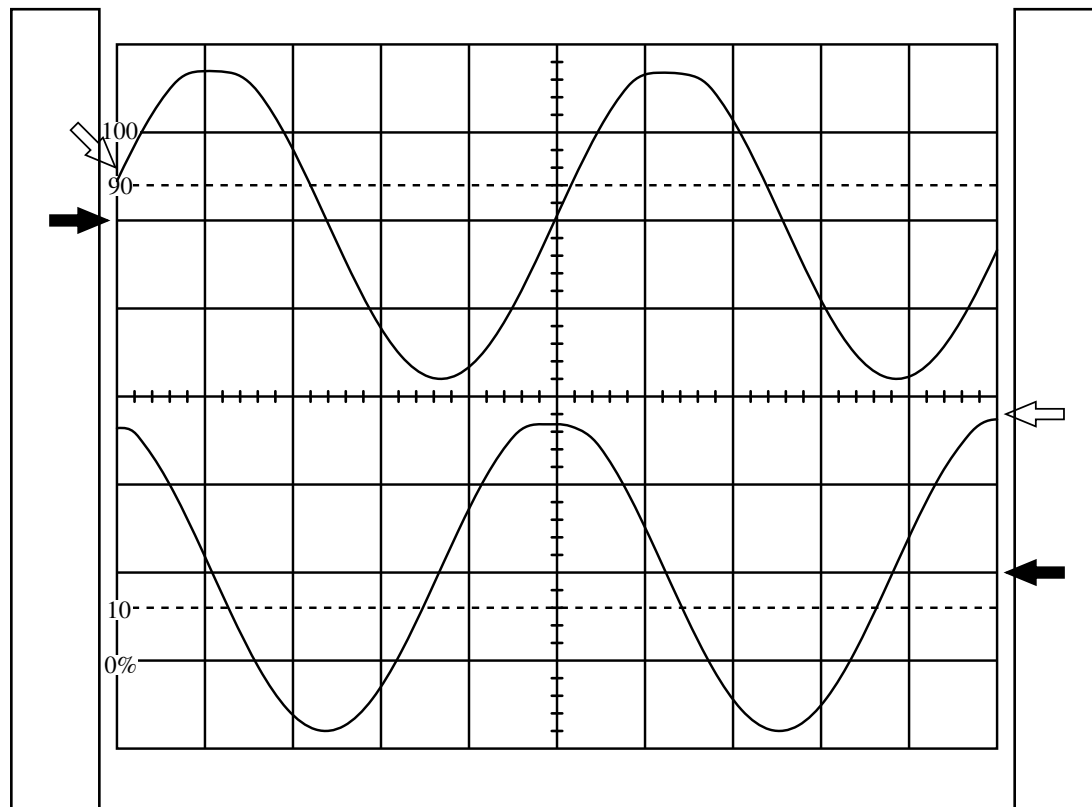
CH1の信号(⇨)とグランドレベル(➡)

CH2の信号(⇦)とグランドレベル(⬅)

100

90

10

0%

垂直軸(CH1)	垂直軸(CH2)	水平軸
10m V/DIV	10m V/DIV	TIME: 0.1m sec/DIV
カップリング: (AC) DC	カップリング: (AC) DC	トリガモード: (AUTO) NORM
プローブ : ×1 (×10)	プローブ : ×1 (×10)	トリガソース: (CH1) CH2 EXT
	反転表示: (NORM) INV	

CH1の信号源 : コンデンサにかかる電圧 (下図の回路のA点)

CH2の信号源 : 抵抗にかかる電圧 (下図の回路のB点)

基準電位 : 下図の回路のC点

外部トリガの信号源 : なし

所感 :

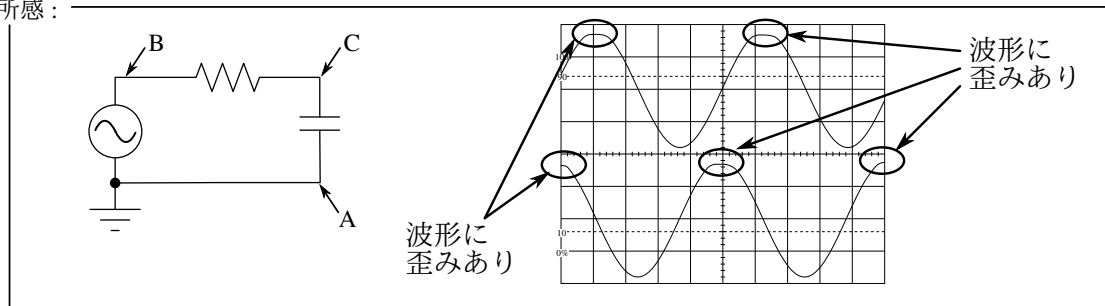



図 A 実験内容 : RC直列回路 (実験項目1)

図 4-12 記録用紙の使い方の例

4.8　レポートについて

レポートは，**一人ひとりが一通提出することが原則**である．しかし，今回のレポートでは，一班につき，一通のレポートを提出せよ．

レポート課題

各実験が終了したら，次の点について，班員で十分に議論を行い，一班につき一通のレポートを提出せよ．

- 4 つの実験結果をまとめよ．その際に，今までに学習したことを含めながら，レポートを作成せよ．
- どの手法がもっとも理解しやすかったか議論せよ．その議論の過程と結論を示せ．
- どの手法がもっとも理解しづらかったか議論せよ．その議論の過程と結論を示せ．
- 手法によって，計測した数値に違いがあったか検討せよ．計測した数値が違う場合は，なぜ違うか，検討してレポートにせよ．一致した揚合は，一致したと明記せよ．計測した値が単純な計測ミスと思われる場合は，追実験を行え．

なお，各人ごとの能力の違いによって，どれが理解しやすいかが違う．

例えば，ベクトル図が簡単に書ける者は，4 の方法が理解しやすいだろう．また，トランスなどの機器に違和感がない者は，3 の方法が理解しやすいだろう．

その能力 (センス) の違いを明記した上で，理解しやすい方法を明示せよ．

なお，当然のことながら，レポートの採点基準は，議論の過程 (理論的な論述展開ができているか) についてのみを判断し，各人の能力の違いについては，採点の対象としない[*4-3]．

[*4-3] 各人の能力の違いは，正直に書いてください．この能力の違いによって，学生実験の指導方法を適切なもの (理解しやすい指導法) にしていきます．

第 5 章　RC 回路のパルス応答と周波数応答

5.1　目的

実験テーマ「コンデンサの特性測定 (RC 直列回路)」に関してさらに詳細に実験・調査する．

5.2　実験機材

必要な実験機材を表 5-1 に示す．使用した装置の欄には，実際に実験で使用した装置の型式，製造番号，メーカを記録すること．(レポートにも書く．)

表 5-1 実験機材一覧

品　名	機　　能		使用した装置の型式	製造番号	メーカ名
オシロスコープ	2 現象波形観測				
ファンクション ジェネレータ	方形波，正弦波信号発生				
抵抗	炭素皮膜抵抗	100kΩ			
コンデンサ	フィルムコンデンサ	1000pF			
		2200pF			
		4700pF			
		0.01μF			

5.3　予備実験

ディジタルマルチメータ (テスタ) を使って，抵抗値を測定し，カラーコードの読み取り値と測定値を比較する．

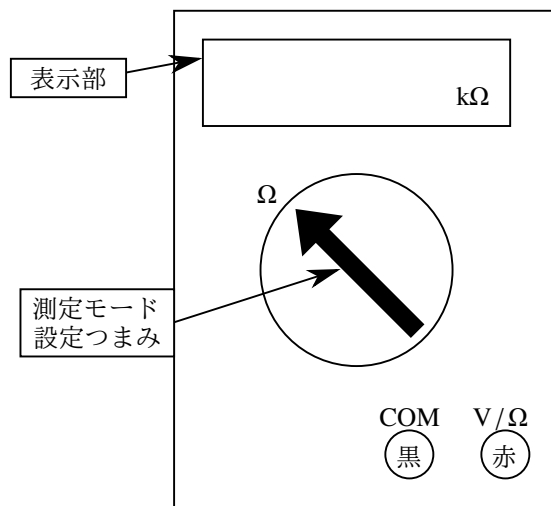



図 5-1 ディジタルマルチメータ (テスタ)

1) テスタ棒 (黒) を COM へ，テスタ棒 (赤) を V/Ω へ挿す．

2) 測定モードを Ω に合わせる．

3) 抵抗の両端にテスタ棒を当て，表示部の値を読み取る．

※測定の際には，テスタ棒と抵抗のリード線との接触状態に注意すること．

※テスタの機種によっては，POWER スイッチを ON にする必要がある．この場合，測定後必ず OFF にすること．

カラーコード (色)	カラーコード読み取り値 (Ω)	測定値 (Ω)	誤差 (%)

課題 1 : 100kΩ と出席番号 ×100Ω の抵抗 (それに近いもの) を測定し，レポートに書くこと．

5.4　実験 I (パルス応答)

実験課題

RC 回路のパルス応答を測定し，その特徴を理解する．

RC 微分回路，RC 積分回路にパルス電圧を入力したときの，出力電圧は図 5-3，図 5-5 のような特性を持つ．また，RC の組み合わせで波形は変化する．

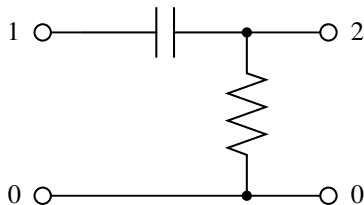



図 5-2 RC 微分回路

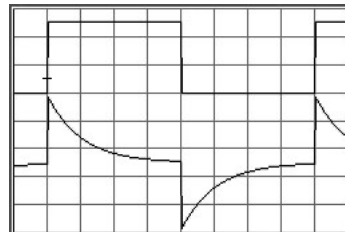



図 5-3 RC 微分回路のパルス応答 (例)

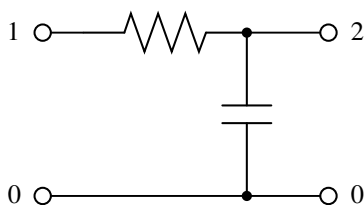



図 5-4 RC 積分回路

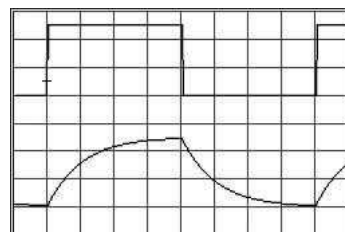



図 5-5 RC 積分回路のパルス応答 (例)

※ 0 端子は計測器 (オシロスコープ)，及び，信号発生器 (ファンクションジェネレータ) の GND に接続する．

5.4.1　実験手順

a) RC 微分回路

① 表 5-1 の抵抗，コンデンサを使用し，図 5-2 の RC 微分回路を配線する．

② 1–0 端子にファンクションジェネレータを接続する．波形モードは方形波 に設定する．

③ 2–0 端子をオシロスコープの CH2 に，1–0 端子をオシロスコープの CH1 に接続する．

④ 1–0 端子の信号をオシロスコープで観測しながら，ファンクションジェネレータの出力信号を振幅 2 [V] (オフセット+1 [V])，周期 1 [ms] に調整する．

⑤ 2–0 端子の出力信号と 1–0 端子の入力信号をオシロスコープで同時に観測して，方眼紙に波形を記録する．

⑥ 表 5-1 に従って各人毎に異なった素子値のコンデンサで回路を組み，波形の違いを観測して記録する．グラフは各人でそれぞれ作成すること (4 通りの波形を 1 枚の方眼紙に書くこと).

b) RC 積分回路

① 表 5-1 の抵抗，コンデンサを使用し，図 5-4 の RC 積分回路を配線する．
② 1–0 端子にファンクションジェネレータを接続する．波形モードは方形波 に設定する．
③ 2–0 端子をオシロスコープの CH2 に，1–0 端子をオシロスコープの CH1 に接続する．
④ 1–0 端子の信号をオシロスコープで観測しながら，ファンクションジェネレータの出力信号を振幅 2 [V] (オフセット+1 [V])，周期 1 [ms] に調整する．
⑤ 2–0 端子の出力信号と 1–0 端子の入力信号をオシロスコープで同時に観測して，方眼紙に波形を記録する．
⑥ コンデンサの素子値を表 5-1 に従って各人毎に変えて回路を組み，波形の違いを観測して記録する．グラフは各人でそれぞれ作成すること (4 通りの波形を 1 枚の方眼紙に書くこと).

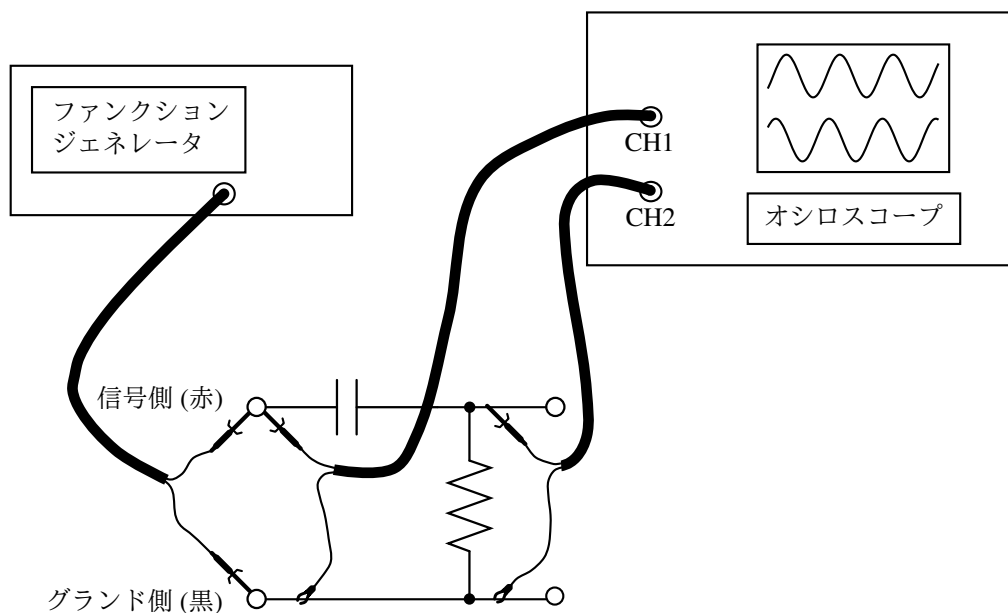



図 5-6 パルス応答を観測するための実験装置

課題 2: b) の実験方法を使って，パルスの立ち上がり時間 t_r，立ち下り時間 t_f を求めよ．立ち上がり，立ち下り時間を観測する際は，入力波形の周期を適切に変えて，パルス応答波形が平坦となる部分が観測できるようにして測定すること．

$$\text{立ち上がり時間 } T = 2.2\tau$$

課題 3: RC 積分回路において，出力電圧 (端子 2–0 間の電圧) は，

$$e_0 = E\left\{1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right\}$$

となる．E は入力電圧 (端子 1–0 間の電圧) の p-p 値である．この理論値を電卓で計算して，測定値と同一のグラフに描け (理論値と測定値の区別がつくようにグラフに書くこと)．[*5-1]

なお，$t = RC$ となる時間が時定数である．

[*5-1] 0 端子は GND(コモン) である．

5.5　実験 II (周波数応答)

実験課題

RC 回路の周波数応答を測定し，その特徴を理解する．

RC 積分回路に周波数の異なる正弦波電圧を入力したときの，各周波数毎の出力電圧は，図 5-7 のような特性を持つ．

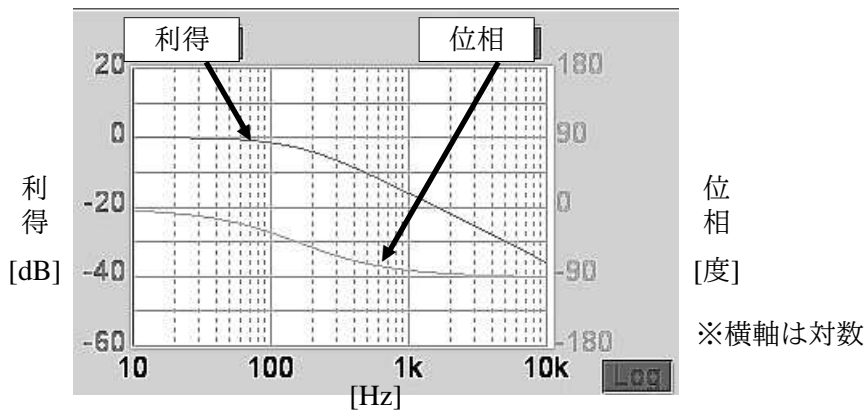



図 5-7 RC 積分回路の周波数応答 (例)

5.5.1　実験手順

RC 積分回路

① 抵抗 10kΩ，コンデンサ 1000pF を使用し，図 5-4 の RC 積分回路を配線する．

② 1–0 端子にファンクションジェネレータを接続する．波形モードは正弦波 に設定する．

③ 2–0 端子をオシロスコープの CH2 に，1–0 端子をオシロスコープの CH1 に接続する．

④ 1–0 端子の信号をオシロスコープで観測しながら，ファンクションジェネレータの出力信号を振幅 2 [V] (オフセット+1 [V]) に調整する．

⑤ 2–0 端子の出力信号と 1–0 端子の入力信号をオシロスコープで同時に観測し，位相と振幅を記録する．データは表に記入すると同時に片対数グラフにプロットすること．これを周波数を変えながら測定する．図 5-8 を参考に測定すること．

⑥ 位相と振幅を記録し，図 5-7 を参考にグラフを作成する．

(横軸の周波数は対数にする : 片対数グラフ用紙を使用)

注: 周波数を対数でとることに注意し，測定する周波数の設定を工夫すること．図 5-7 を見て分かるように，変化が大きいところがある．この付近では，周波数を細かく変化させて測定すること．

※ 時間に余裕のある者は，RC 微分回路に関しても同様な測定をして，特性を比較せよ．

5.5.2 位相，利得の測定法

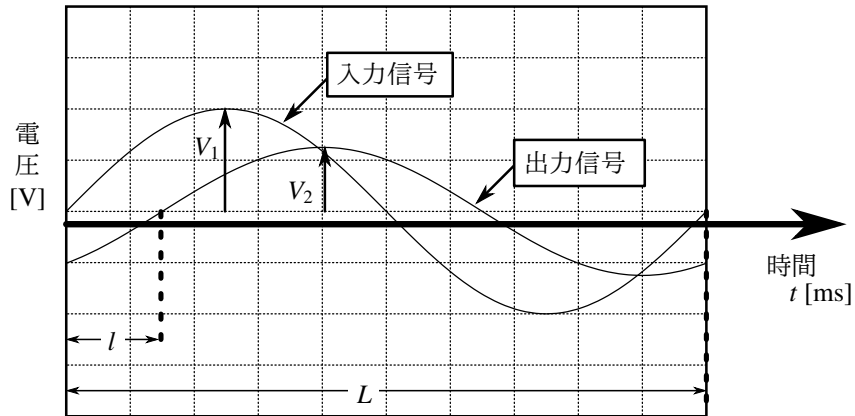



図 5-8 周波数応答の測定法

※ 利得 (G) の求め方

$$G = 20\log\frac{V_2}{V_1} \quad \text{[dB]}$$

V_1 : 入力信号の振幅　　V_2 : 出力信号の振幅

※ 位相 (ϕ) の求め方

$$\phi = \frac{l}{L}\times 360 \quad [\text{度}]$$

l : 入力信号と出力信号の時間差　　L : 入力信号の周期

周波数 f [Hz]	V_1 [V]	V_2 [V]	利得 G [dB]	L [ms]	l [ms]	位相 ϕ [度]
100						
200						
300						
500						
700						
1000						
2000						
3000						
⋮						

課題 4: 図 5-2 はハイパスフィルタ，図 5-4 はローパスフィルタとも呼ばれる．これらの動作，働きを説明せよ．また，どのような目的で使用されるか述べよ．

関連科目とキーワード

科　　目: 基礎電気回路 (1 年)，電気回路 (2 年)，アナログ回路 (3 年)，計測工学 (3 年)，ディジタル回路応用 I (4 年)

キーワード : オームの法則，微分方程式，過渡応答 (ステップ応答，パルス応答)，周波数応答，周波数伝達関数，f 特 (周波数特性)，利得，位相

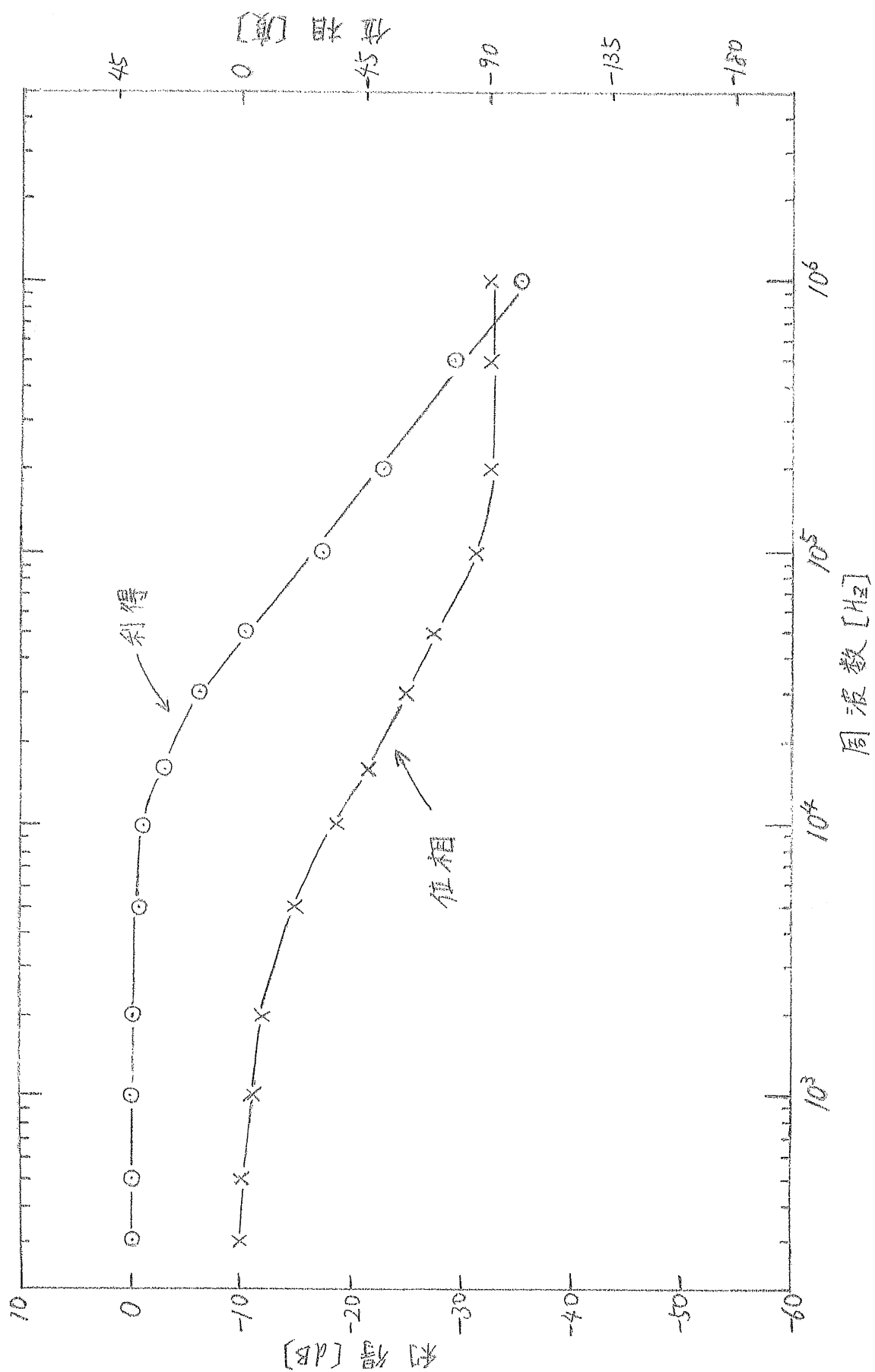



図1. RC積分回路の周波数応答

第6章　オシロスコープの操作のテスト

この時間の学生実験では，オシロスコープの操作に関する試験を実施する．

試験の形式は，こちらが指定する 3 つの信号波形を順に観測し，観測した波形を記述して提出することとする．試験に持ち込み可能なものは，筆記用具 (自在定規，雲型定規などの定規類を含む)，電卓，レポートの写しとする．取扱説明書は，試験中に閲覧できるが，本テキストの持ち込みは不可とする．

なお，問題の信号波形は，

- オフセットなしの正弦波

  波形をオシロスコープで観察し，振幅と周期を読み取り解答する．

- オフセットありの方形波

  波形をオシロスコープで観察し，振幅と周期とオフセット量についてを解答する．

- SINC 波形 or 心電図波形

  波形をオシロスコープに表示させる．その際に，トリガが上手にかかっている状態とトリガがかかっていない状態の 2 通りを表示させる．

の 3 つの波形とし，出題順序はランダムである．更に，振幅，周波数，オフセットの 3 つのパラメータについてもランダムな値とする．

上記のテストの制限時間を各問 5 分の計 15 分とする．

試験は試験官と一対一の形式 (一人に対し一実験装置を操作する) で行い，出席番号順とする．

なお，試験を受ける順番によって，有利不利があるので，事前に模擬試験を受験することが可能とし，試験問題と解答用紙を公表する．模擬試験を希望するものは，学生実験の担当教官まで申し出ること．試験を行う装置と同じ装置を放課後に利用することができる．ただし，試験装置の台数の関係上，最大 5 セットまでの対応となる．

なお，不合格者に対しては，補講と再試を行なう．

6.1　問題の備考

SINC 波形と心電図波形の概略図をヒントとして掲載しておく．図 6-1 が SINC 波形 ($\sin(x)/x$ の繰り返し波形) で，図 6-2 が心電図波形である．

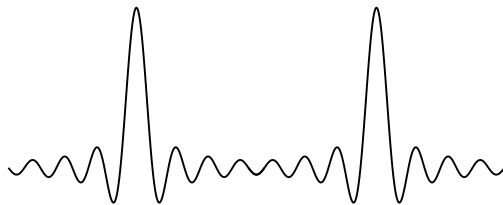



図 6-1 SINC 波形の概形

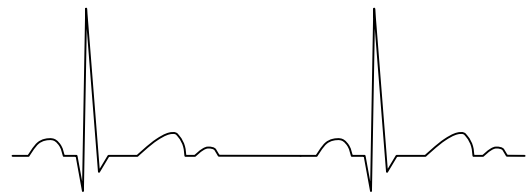



図 6-2 心電図波形

どこでトリガをかければよいかを考えておくこと．

6.2 使用する解答用紙

オシロスコープの操作試験 解答用紙

出席番号 :

氏名 :

問題 1: 正弦波交流の問題

周期を右に記せ :

周波数を右に記せ :

振幅を右に記せ :

問題 2: 方形波の問題

周期を右に記せ :

周波数を右に記せ :

振幅を右に記せ :

オフセット量を記せ :

問題 3: SINC 波 or 心電図波の問題

次の 1〜3 のうち，正しい番号に，○ をつけよ．

試験の波形は,

1. SINC 波形
2. 心電図波形
3. SINC 波形でも心電図波形でもない

です.

注意事項:

- 単位の記入を忘れないこと.

この枠内には何も書き込まないこと

波形コード 1:

波形 1 のトリガ　合格 or 不合格

不合格理由

波形コード 2:

波形 2 のトリガ　合格 or 不合格

不合格理由

波形コード 3:

波形 3 のトリガ　合格 or 不合格

不合格理由

第7章　ダイオードの静特性

7.1　目的

各種のダイオードの特性を実験を通して理解する．

7.2　実験概要

7.2.1　ダイオードの性質

ダイオード (回路記号は ▶|) の基本的な性質は，アノードからカソードに電流が流れ，カソードからアノードには電流が流れない．

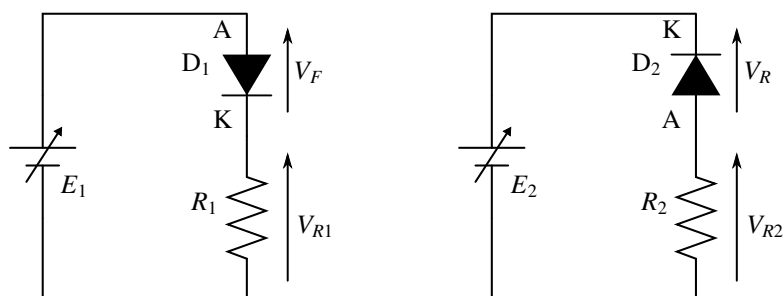



図 7-1 ダイオードの実験回路

左図の回路には「たくさん」電流が流れ，右図の回路には「ほとんど」電流が流れない．今回の実験では,「たくさん」流れるとか,「ほとんど」流れないなどというあいまいな言葉ではなく,「どのくらいの」電流が流れるかを図 7-1 の回路を使用して正確に測定してみよう．

7.2.2　電圧と電流の関係

電流の流れにくさを示すレジスタンス (単位は，オーム [Ω]) は，既に習得している．抵抗器 R [Ω] に電圧 V [V] を加えると電流 I [A] が流れる．その関係は，$V = RI$ である．

抵抗器に加える電圧 (印加電圧) を V，流れる電流を I とした場合の関係をグラフ化すると図 7-2 のような直線になる．

この図は，電圧と電流の関係を示す I–V 特性図である．このグラフから読み取れる事は,

- 電圧を加えない ($V = 0$) 時は，電流が流れない．
- 特性が直線であるので，印加電圧の変化に対して，抵抗値は変化していない．
- グラフの傾きの逆数が抵抗値であるので，測定した抵抗器の抵抗は，V_1/I_1 [Ω] である．

などである．では，ダイオードでは，どのような特性図になるのだろうか?

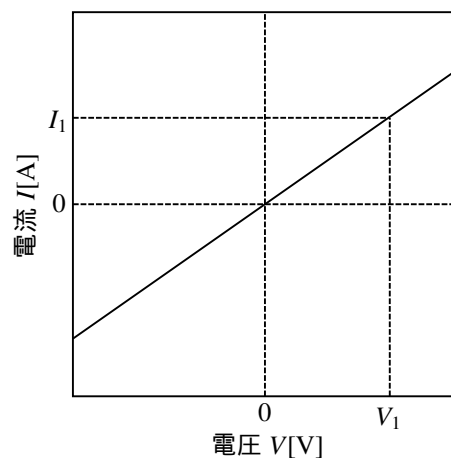



図 7-2 抵抗の I–V 特性

7.3　実験

　実験においては,「シリコンダイオード，ゲルマニュームダイオード，ショットキーバリアダイオード，LED(ガリウムヒ素)，ツェナダイオード」の 5 種類のダイオードを用いる．(各人で担当を決め，一人一種類以上のダイオードについて，実験を行うこと)
　各ダイオードのアノードとカソードの見分け方は，

- 帯の位置で判断する．(Si と Ge とツェナ，帯の側がカソード)
- マークで判断する．(ショットキー，記号が印刷されている)
- リード線の長さで判断する．(LED，長い方がアノード)

などとなっている．

7.3.1　順方向特性 (図 7-1 の左図) の測定

1. 図 7-1 の左側の回路をブレッドボードに組み立てる．R_1 には，1kΩ を用いる．
2. E_1 の値を 0 [V] に設定する．
3. V_F と V_{R1} を測定し，その値をノートに記録する．
4. ダイオードに流れている電流 I_F を $I_F = V_{R1}/R_1$ で計算する．
5. 図 7-3 のグラフに (V_F, I_F) の点を打つ．
6. 十分な測定ができたと考えるならば，7 へ．そうでなければ，E_1 を変化させて，3 に戻る．
7. 計測した点を滑らかな線で結ぶ．(滑らかな線で結べない場合は，3 に戻る)
8. 計測データが適切かどうか，教官に確認してもらい，OK であれば，次の種類のダイオードの実験に移る．

注意: 順方向電流 (I_F) は 0〜10 [mA] の範囲，順方向電圧 (V_F) は 0〜1.8 [V] の範囲で実験を行うこと．

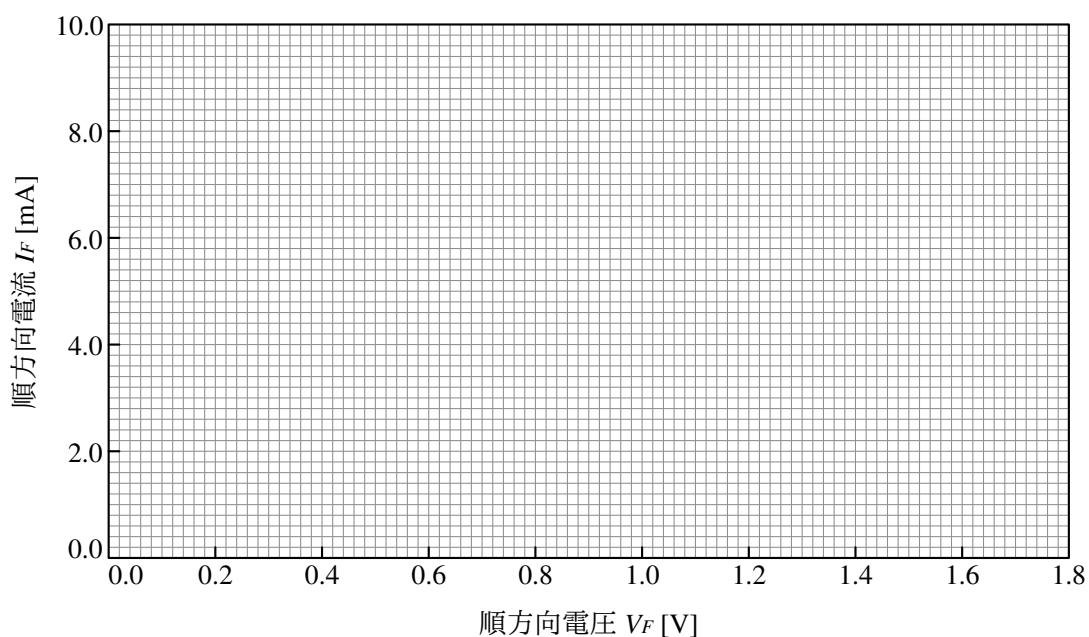



図 7-3 ダイオードの順方向特性

7.3.2　逆方向特性 (図 7-1 の右図) の測定

1. 図 7-1 の右側の回路をブレッドボードに組み立てる．R_2 には，10kΩ を用いる．
2. E_2 の値を 0 [V] に設定する．
3. V_R と V_{R2} を測定し，その値をノートに記録する．
4. ダイオードに流れている電流 I_R を $I_R = V_{R2}/R_2$ で計算する．
5. 図 7-4 のグラフに (V_R, I_R) の点を打つ．
6. 十分な測定ができたと考えるならば，7 へ．そうでなければ，E_2 を変化させて，3 に戻る．
7. 計測した点を滑らかな線で結ぶ．(滑らかな線で結べない場合は，3 に戻る)
8. 計測データが適切かどうか，教官に確認してもらい，OK であれば，次の種類のダイオードの実験に移る．

注意: ツェナダイオード以外のダイオードについては，逆方向電流 (I_R) は 0〜10 [μA] の範囲，逆方向電圧 (V_R) は 0〜17 [V] の範囲で実験を行うこと．
　ツェナダイオードについては，逆方向電流 (I_R) は 0〜10 [mA] の範囲，逆方向電圧 (V_R) は 0〜17 [V] の範囲で実験を行うこと．

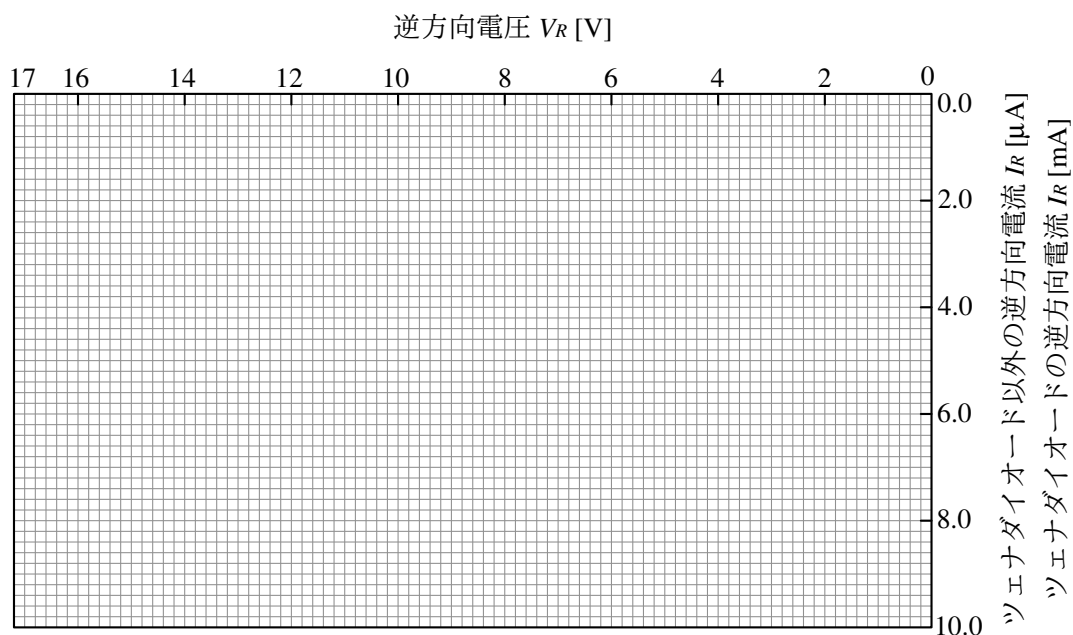
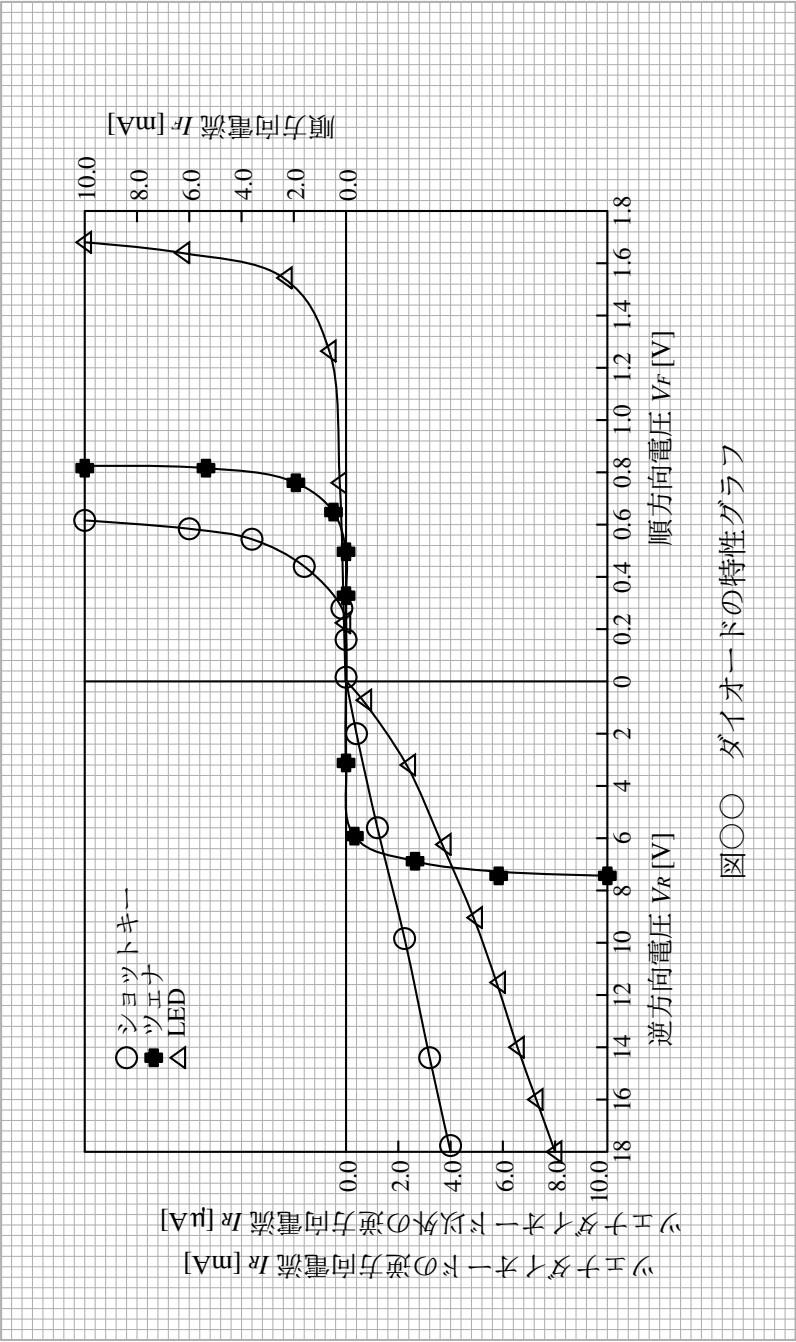



図 7-4　ダイオードの逆方向特性

7.3.3　結果のまとめ

全ての結果について，図 7-5 のように一枚のグラフに書き上げ，教官による確認を受けたら実験終了 (1mm 方眼紙は，各自準備すること)．なお，図 7-5 のデータは正しくないので，信じぬように．

図 7-5 ダイオードの特性グラフの書き方

7.4 レポート課題

シリコンダイオード，ゲルマニュームダイオード，ショットキーバリアダイオードの 3 つのダイオードのうち，どのダイオードの特性が理想的なダイオード特性に最も近いか?

- 順方向電流が流れ始める電圧
- 順方向電流が流れているときの抵抗値
- 逆方向電流が流れているときの抵抗値

の三つの面から考え，実験結果を引用しながら回答せよ．

なお，理想ダイオードは，順方向電流が流れ始める電圧は 0 [V] で，逆方向電圧がかかっているときは抵抗値が ∞ [Ω] で，順方向電圧がかかっているときは抵抗値が 0 [Ω] である．

第8章　トランジスタの直流特性

8.1　目的

2つのタイプのトランジスタ (バイポーラトランジスタ，及び，MOSFET (MOS電界効果トランジスタ)) を用いた基本増幅回路を製作して，その直流動作を測定することにより，トランジスタの増幅作用の本質を理解する．

8.2　実験

8.2.1　バイポーラトランジスタを用いた回路

図8-1は，npnトランジスタ (2SC1815) を用いた増幅作用を調べる回路である．図8-1の回路を製作せよ．

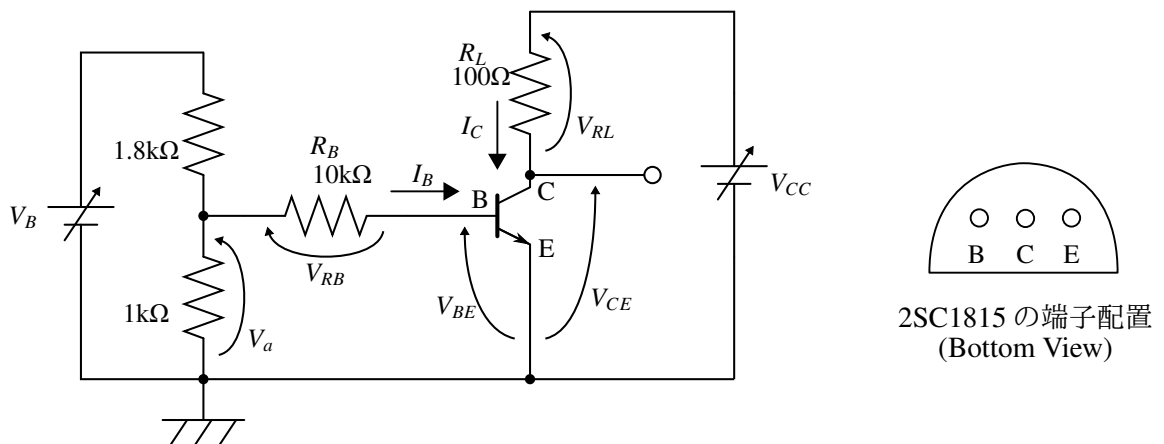
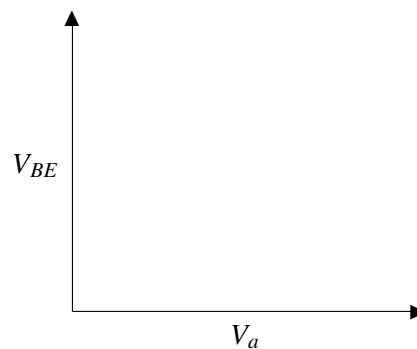



図8-1 バイポーラトランジスタ回路

1) ベース–エミッタ間に加わる電圧 (V_{BE}) の測定

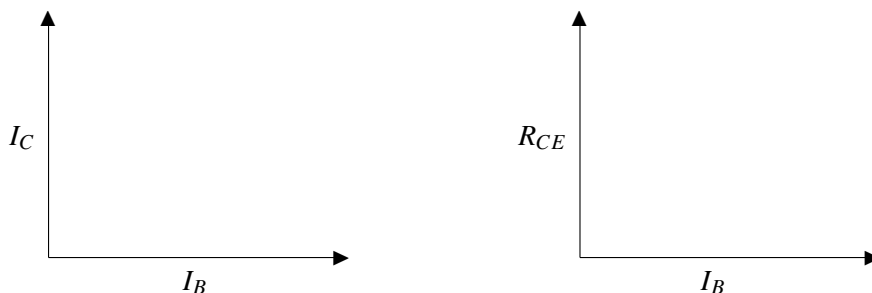
V_{CC} = 0 [V] とする．V_a を変化させて，V_{BE} を測定せよ．V_a の変化は，V_B を変化させることにより行う．

V_a	V_{BE}
0 [V] から，およそ 0.2 [V] きざみで 1.2 [V] まで	

$V_{BE} - V_a$ 特性のグラフを書け．これより，ベース – エミッタ間に加わる電圧について検討せよ．

2) ベース電流によるコレクタ電流，および，コレクタ－エミッタ間の抵抗の変化の測定

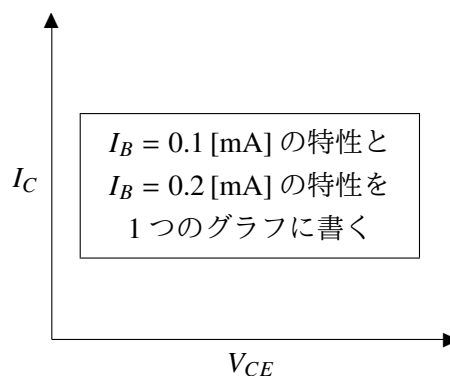
ベース電流を変化させたとき，コレクタ電流 I_C，コレクタ－エミッタ間抵抗 R_{CE} の変化を観察する．ベース電流は V_{RB} を測定し，コレクタ電流は V_{RL} を測定することにより計算する．$V_{CC} = 5$ [V] とする．

V_{RB}	V_{CE}	V_{RL}	I_B	I_C	R_{CE}
0 [V] からおよそ 0.2 [V] きざみで 1 [V] まで． その後，およそ 0.5 [V] きざみで 5 [V] まで．					

これより，$I_C - I_B$ 特性，$R_{CE} - I_B$ 特性のグラフを書け．また，入力電流 (ベース電流) によって，C－E 間抵抗や，コレクタ電流がどのように変化するかを調べよ．

3) $I_C - V_{CE}$ 特性の測定

ベース電流を一定とし，V_{CE} を変化させたときの I_C の変化を測定する．V_{CE} の変化は，V_{CC} を変化させることにより行う．$I_B = 0.1$ [mA] の場合と，$I_B = 0.2$ [mA] の場合について測定する．

注意) ベース電流を設定するときは，$V_{CC} = 5$ [V] にして設定すること．

V_{CE}	V_{RL}	I_C
0 [V] からおよそ 0.1 [V] きざみで 1 [V] まで． その後，1 [V] きざみで 5 [V] まで．		

このグラフより，$I_B = 0.1$ [mA]，$R_L = 100$ [Ω]，$V_{CC} = 5$ [V] のときの動作点を作図により求めよ．

8.2.2 MOSFET を用いた回路 (1)

図 8-2 は，n チャネル型 MOSFET(略して nMOS，型番: BS108) を用いた回路である．図 8-2 の回路を製作せよ．

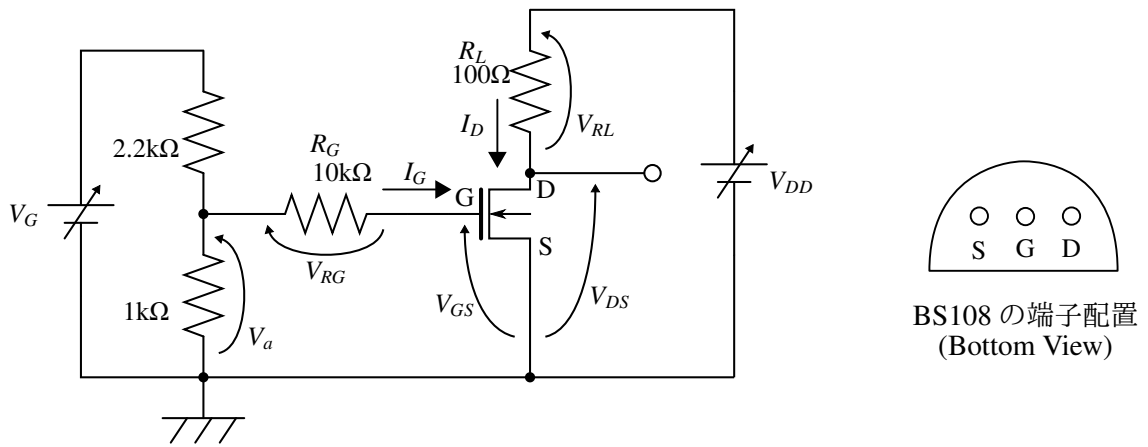
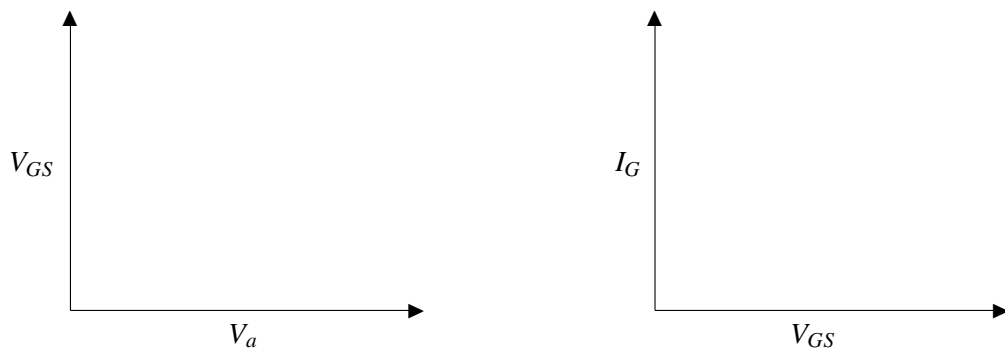



図 8-2 n チャネル MOSFET を用いた回路

1) ゲート – ソース間に加わる電圧，および，ゲート電流の測定

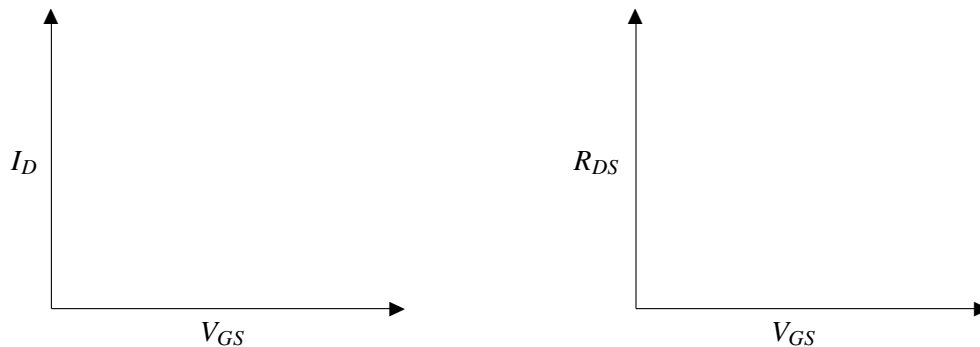
V_a を変化させたとき，ゲート電流 I_G，および，ゲート – ソース間電圧 V_{GS} を測定する．V_a の変化は，V_G を変化させることにより行う．$V_{DD} = 0$ [V] としておく．

V_a	V_{GS}	V_{RG}	I_G
0 [V] からおよそ 1 [V] きざみで 5 [V] まで.			

上記の実験結果を，MOSFET の構造を用いて定性的に説明せよ．

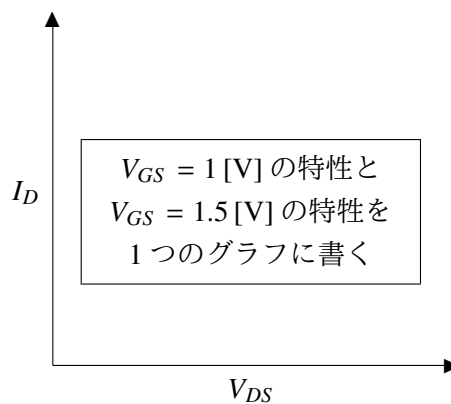
2) ゲート電圧によるドレーン電流およびドレーン－ソース間抵抗の変化の測定

ゲート電圧 V_{GS} を変化させたときの，ドレーン電流 I_D とドレーン－ソース間抵抗 R_{DS} の変化を測定する．ドレーン電流は，V_{RL} の測定値から計算によって求める．$V_{DD} = 5$ [V] とする．

V_{GS}	V_{DS}	V_{RL}	I_D	R_{DS}
0 [V] からおよそ 0.1 [V] きざみで 2 [V] まで.				

これより，$I_D - V_{GS}$ 特性，$R_{DS} - V_{GS}$ 特性のグラフを書け．

3) $I_D - V_{DS}$ 特性の測定

ゲート電圧を一定とし，V_{DS} を変化させたときの I_D の変化を測定する．V_{DS} の変化は，V_{DD} を変化させることにより行う．$V_{GS} = 1$ [V] の場合と，$V_{GS} = 1.5$ [V] の場合について測定する．

V_{DS}	V_{RL}	I_D
0 [V] からおよそ 0.1 [V] きざみで 1 [V] まで. その後，0.5 [V] きざみで 5 [V] まで. (I_D は最大 50 [mA] までとする)		

このグラフより，$V_{DD} = 5$ [V]，$R_L = 100$ [Ω]，$V_{GS} = 1.5$ [V] のときの動作点を作図により求めよ．

8.2.3　MOSFET を用いた回路 (2)

図 8-3 は，p チャネル型 MOSFET(略して pMOS，型番: ZVP2110A) を用いた回路である．図 8-3 の回路を製作せよ．(電源の極性に注意すること．)

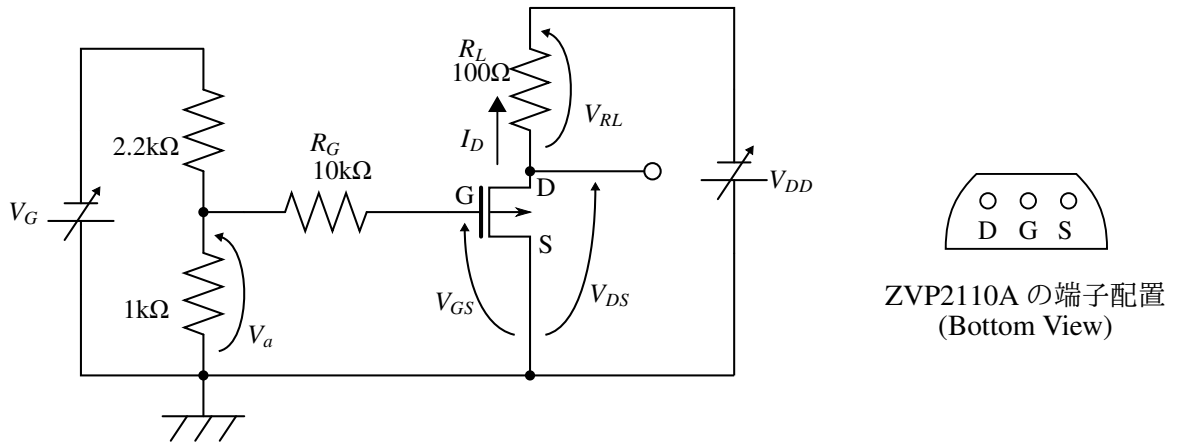
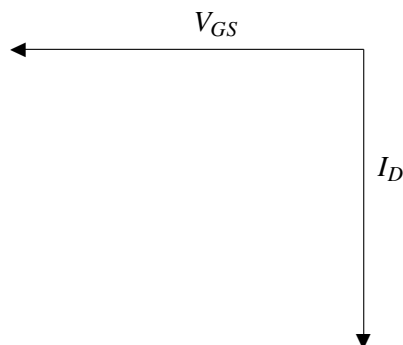



図 8-3 p チャネル MOSFET を用いた回路

1) ゲート電圧によるドレーン電流の変化の測定

ゲート電圧 V_{GS} を変化させたときの，ドレーン電流 I_D の変化を測定する．ドレーン電流は，V_{RL} の測定値から計算によって求める．V_{DD} = 5 [V] とする．

V_{GS}	V_{RL}	I_D
0 [V] からおよそ −0.5 [V] きざみで −5 [V] まで．		

これより，$I_D - V_{GS}$ 特性のグラフを書け．

8.3 使用器具

- 直流電源　2 台
- マルチメータ　2 台

8.4 実験上の注意

1) 電源のメータは不正確であるので，電源電圧はマルチメータで測定すること．
2) 回路を流れる電流は，マルチメータの電流モードで測定するのではなく，電流を測定したい回路に直列に接続されている抵抗に加わる電圧を測定してオームの法則を用いて求める．
3) 抵抗素子の値の表示は誤差を含んでいるので，正確な値をマルチメータであらかじめ測定しておいて，2) の計算に用いること．
4) MOSFET は非常に壊れやすいので，ゲート端子には直接触れないように注意して取り扱うこと．
5) マルチメータの取り扱いは 9 章の付録を参照のこと．

8.5 考察

1) バイポーラトランジスタ実験回路において，$V_{BE}-V_a$ 特性からどのようなことが言えるか．バイポーラトランジスタの B – E 間の構造に着目して考えよ．
2) バイポーラトランジスタを用いた実験回路において，ベース電流を増加すると，コレクタ電流が飽和するのは何故か．負荷抵抗とトランジスタの C – E 間の抵抗に着目して考えよ．
3) バイポーラトランジスタと MOSFET の最も大きな違いは何か．負荷に流す電流の制御の仕方に着目して述べよ．
4) pnp 型バイポーラトランジスタを動作させるための電圧の加え方を，極性に注意して述べよ．
5) p チャネル型 MOSFET を動作させるための電圧の加え方を，極性に注意して述べよ．

8.6 研究課題

1) MOSFET を用いた実験回路においては，ゲート電圧と，ドレーン電流は比例しない．これを比例させるようにするには，どのような工夫が必要か．

付録

<u>トランジスタの増幅作用について</u>

トランジスタは増幅作用があると言われている．この場合，入力信号がトランジスタ中を伝搬する間に増幅されて大きな出力信号が得られるのではなく，入力信号によって出力回路を流れる電流の流れやすさが大きく変化するからであることに注意しよう．

バイポーラトランジスタの場合:	ベース電流によって，コレクタ – エミッタ間の電流の流れやすさが変化する．
MOSFET の場合:	ゲート電圧によって，ドレーン – ソース間の電流の流れやすさが変化する．

第9章　ダイオード，トランジスタを用いた論理回路

9.1　目的

ダイオード，トランジスタを用いた基本論理素子の回路を製作して，その動作を理解する．

9.2　実験

9.2.1　ダイオード論理回路

1) 図 9-1 の回路を製作せよ．次に，入力端子 a, b に種々の電圧を加えたときの出力端子 f の電圧をマルチメータで測定することにより，動作特性表を完成せよ．また，この表より，正論理に対応した真理値表を完成して，この回路の論理動作を検討せよ．

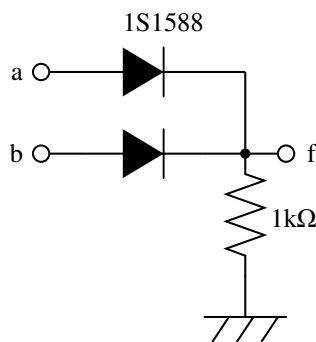



図 9-1 ダイオード論理回路 1

表 9-1 動作特性表

a [V]	b [V]	f [V]
0.0	0.0	
0.0	5.0	
5.0	0.0	
5.0	5.0	

表 9-2 正論理に対応した真理値表

a	b	f

注意) ダイオードの極性は，マルチメータで確認すること (付録参照).

2) 図 9-2 の回路を製作せよ．次に，入力端子 a, b に種々の電圧を加えたときの出力端子 f の電圧を，マルチメータで測定することにより，動作特性表を完成せよ．また，この表より，正論理に対応した真理値表を完成して，この回路の論理動作を検討せよ．

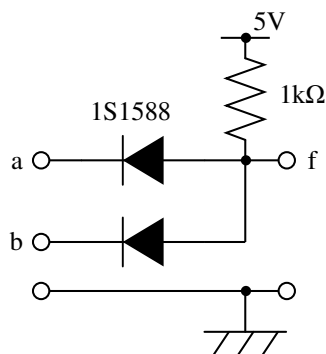



図 9-2 ダイオード論理回路 2

表 9-3 動作特性表

a [V]	b [V]	f [V]
0.0	0.0	
0.0	5.0	
5.0	0.0	
5.0	5.0	

表 9-4 正論理に対応した真理値表

a	b	f

9.2.2 TTL 論理回路

1-a) 図 9-3 の回路を製作せよ．次に端子 a に電圧を印加したときの出力 f の電圧をマルチメータで測定し，表 9-5 の動作特性表を完成せよ．また，正論理に対応した真理値表を完成し，どのような論理動作になっているかを検討せよ．

B C E

2SC1815 の端子配置
(Bottom View)

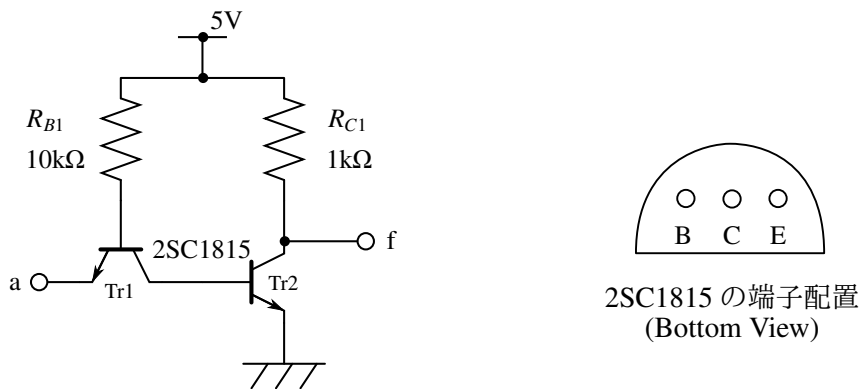



図 9-3 トランジスタ論理回路 1

表 9-5 動作特性表

a [V]	f [V]
0.0	
5.0	
open	

表 9-6 正論理に対応した真理値表

a	f

備考 1) Bottom View はトランジスタの底面 (足の出ている方) から見た図をいう．

備考 2) open は，端子に何も接続しない状態をいう．
open のときの値は真理値表では考えなくてよい．

1-b) 時系列入出力特性をオシロスコープで観測する．図 9-4 のような周波数 5 [kHz] の方形波を Function Generator で発生して端子 a に加える．端子 a および f の波形を 2 現象で観測し，その結果をグラフ用紙に描け．

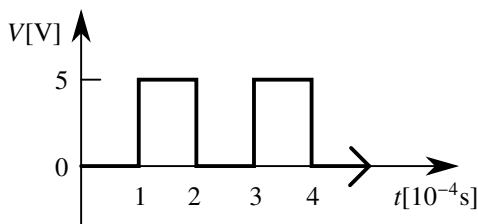



図 9-4 入力波形

2) 図 9-5 の回路を製作せよ．次に，端子 a, b に電圧を加えたときの出力電圧をマルチメータで測定し，表 9-7 の動作特性表を完成せよ．また，正論理に対する真理値表を完成し，この回路の論理動作を検討せよ．

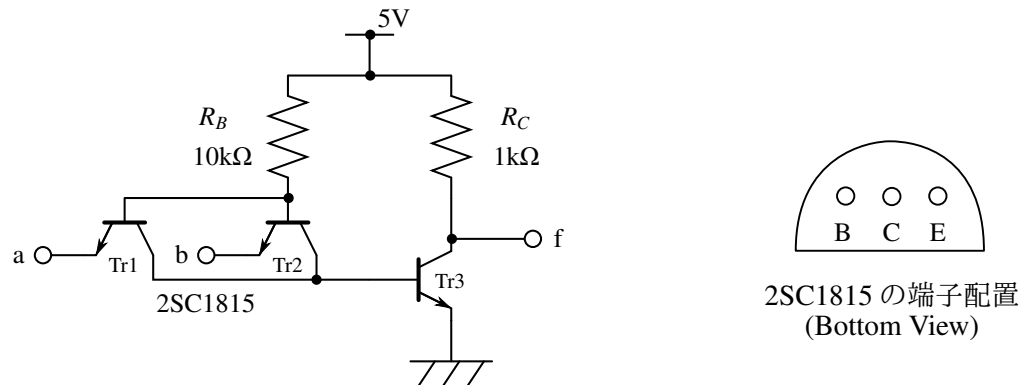



図 9-5 トランジスタ論理回路 2

表 9-7 動作特性表

a [V]	b [V]	f [V]
0.0	0.0	
0.0	5.0	
5.0	0.0	
5.0	5.0	

表 9-8 正論理に対応した真理値表

a	b	f

3) 図 9-6 の回路を製作せよ．次に，入力端子 a, b に電圧を印加したときの出力 f の電圧をマルチメータで測定して，動作特性表を完成せよ．また，正論理の真理値表を完成してこの回路の論理動作を検討せよ．

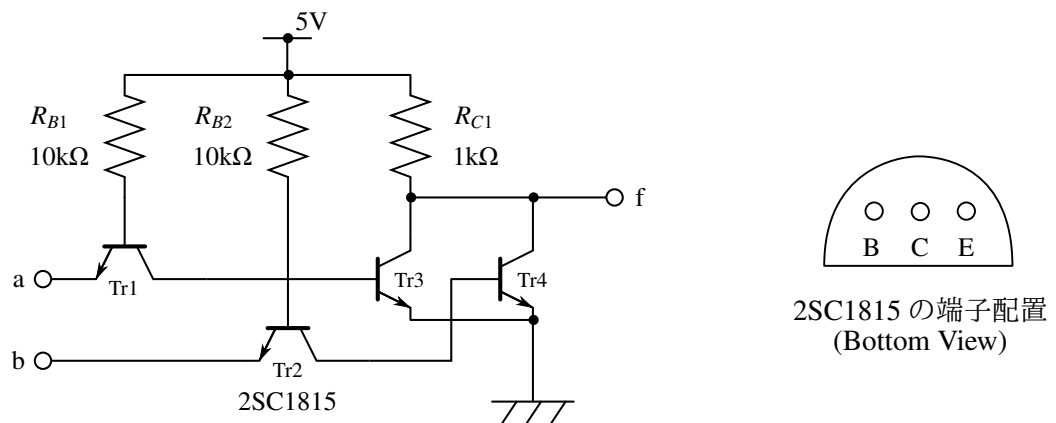



図 9-6 トランジスタ論理回路 3

表 9-9 動作特性表

a [V]	b [V]	f [V]
0.0	0.0	
0.0	5.0	
5.0	0.0	
5.0	5.0	

表 9-10 正論理に対応した真理値表

a	b	f

9.2.3 CMOS 論理回路

図 9-7 の回路を製作せよ．BS108 は nMOS，ZVP2110A は pMOS である．接続端子に注意すること．

1) 端子 a に電圧を印加したときの出力 f の電圧をマルチメータで測定し，表 9-11 の動作特性表を完成せよ．また，正論理に対応した真理値表を完成し，どのような論理動作になっているかを検討せよ．

図 9-7 CMOS 論理回路

ZVP2110A の端子配置
(Bottom View)

BS108 の端子配置
(Bottom View)

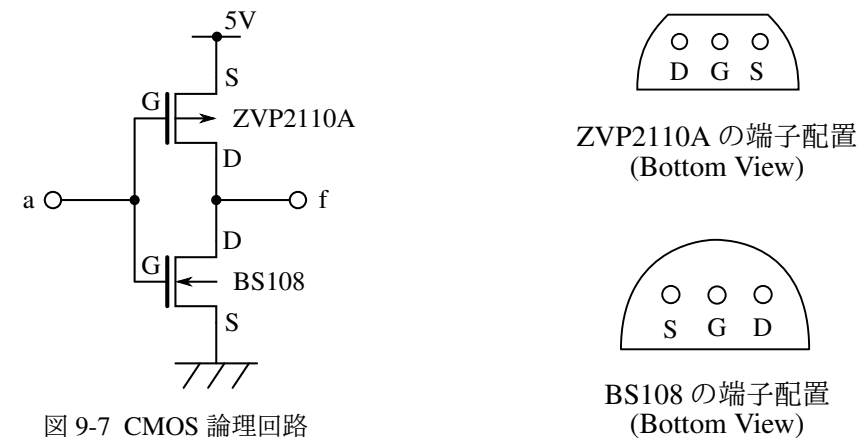



表 9-11 動作特性表

a [V]	f [V]
0.0	
5.0	
open	

表 9-12 正論理に対応した真理値表

a	f

2) 入力端子 a に 0 [V] および 5 [V] を印加したときの，回路を流れる電流を測定して比較せよ．

注意: 回路を流れる電流は，図 9-7 の pMOS の S(ソース) と電源の間に抵抗を挿入して，その抵抗の電圧降下を測定することにより求められる．

測定に用いた抵抗の値 = ________ Ω

a	抵抗の電圧降下	回路を流れる電流
0 [V]		
5 [V]		

9.3 使用器具

- 直流電源
- マルチメータ
- Function Generator
- オシロスコープ

注意) 上記の機器については，メーカー，型番の異なるものが各種あるが，いずれを用いてもよい．

9.4 考察

1) 各回路において，入力電圧の各組み合わせによって，ダイオードやトランジスタの導通状態はどのようになっているかを検討することにより，各回路の動作を説明せよ．

2) 各回路の動作特性表を負論理で解釈すると，どのような論理動作になるかを検討せよ．

3) バイポーラトランジスタを用いた AND 回路を作れ．

   (ヒント) 実験で用いた回路を組み合わせると実現できる．

9.5 研究課題

1) CMOS 論理回路の特徴について調べよ．

9.A　付録

9.A.1　実験に関係する基礎事項

∘ 本実験で用いるエミッタ接地基本回路と静特性を図 9-8 に示す.

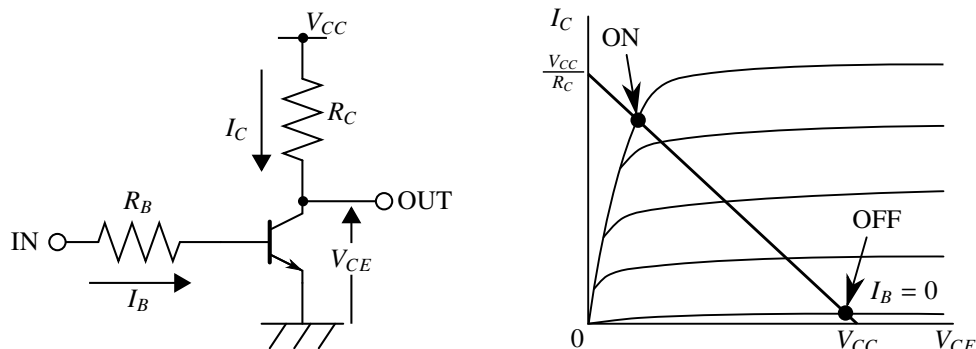



図 9-8 エミッタ接地基本回路と静特性

論理回路の入出力電圧は，2 つの値を区別できればよい．従って，論理回路中のバイポーラトランジスタは以下の 2 つの動作状態で動作させる大振幅動作であることに注意する．

- OFF 状態: ベース電流=0 のとき，コレクタ – エミッタ (C – E) 間が高抵抗状態
- ON 状態: ベース電流が十分大きいとき，C – E 間が低抵抗状態

トランジスタの E(エミッタ)，B(ベース)，C(コレクタ) の端子を間違えないように注意すること．
ダイオードの極性 (アノード，カソード) もマルチメータで確認して使用すること．

9.A.2　実験で用いる機器に関する基礎事項

1) 直流電源の使用法

本実験では，回路を動作させるための電圧や，入力端子に加える電圧は直流電源から供給する．直流電源のパネル面の例を図 9-9 に示す．

Power	電源スイッチ
Output	ON すると，出力端子から電圧が供給される．
電圧可変つまみ	時計方向に回すと，出力電圧が増加する．
電圧計	負荷に供給されている電圧を示す．
電流計	負荷に供給されている電流を示す．
−, +	出力端子
GRD	筐体 (ケース) に接続されている． 正電圧を得るときは，− と GRD を 負電圧を得るときは，+ と GRD を ショートバーで接続しておく．

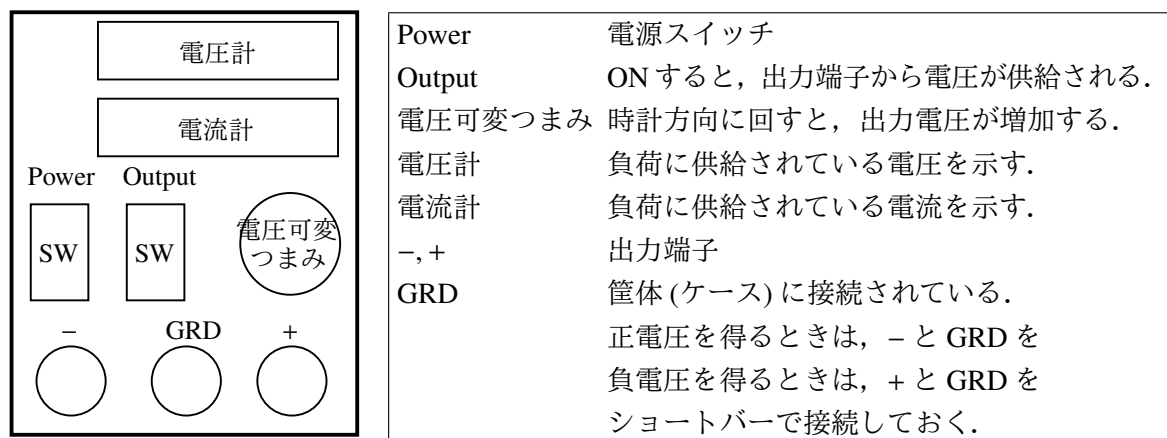



図 9-9 直流電源のパネル面の例

- 出力電圧の設定法

  (1) 電圧可変つまみを反時計方向に回しきっておく．
  (2) Power スイッチを入れる．
  (3) 電圧可変つまみで所定の電圧にする．

(4) Output スイッチを入れると，負荷に電圧が供給される．

注意) 製造メーカーや型番が異なると，パネル面や使用法が異なることがあるので，取扱説明書 (マニュアル) で確認すること．

2) マルチメータの使用法

マルチメータは，

- 電圧 (直流，交流) の測定
- 電流 (直流，交流) の測定
- 抵抗の測定
- ダイオードの動作テスト
- 導通テスト

などが行える．図 9-10 にマルチメータのパネル面の例を示す．

Power　電源スイッチ
DATA-H　表示中のデータをホールドする
RANGE　表示のレンジをオートかマニュアルにする
•)))/→|　導通テストとダイオードテストの切り替え
ファンクションスイッチ　測定項目の選択
① 交流電流
② 直流電流
③ 導通テスト/ダイオードテスト
④ 抵抗
⑤ 直流電圧
⑥ 交流電圧

Ⓐ Ⓑ Ⓒ　測定端子　Ⓐは共通端子
Ⓑ と Ⓐ　電圧，抵抗，導通テスト，ダイオードテスト
Ⓒ と Ⓐ　電流測定

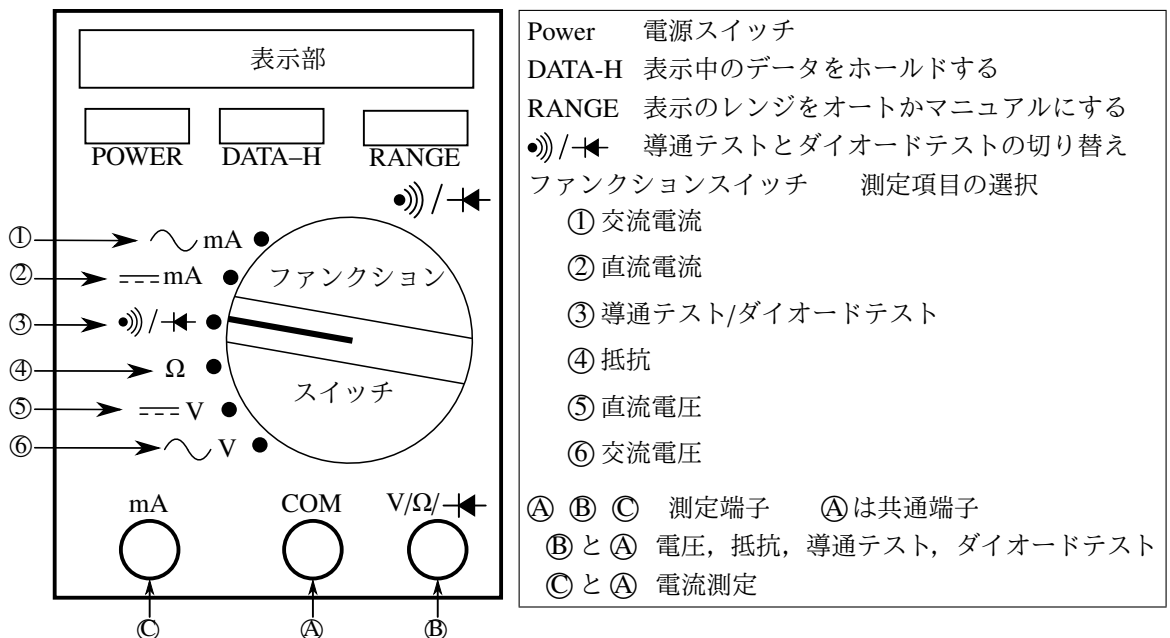



図 9-10 マルチメータのパネル面

(a) 直流電圧の測定

(1) POWER を入れる．
(2) ファンクションスイッチを ⑤ に合わせる．
(3) Ⓐ と Ⓑ を測定したい 2 点に接続する．

(b) ダイオードの極性の判別

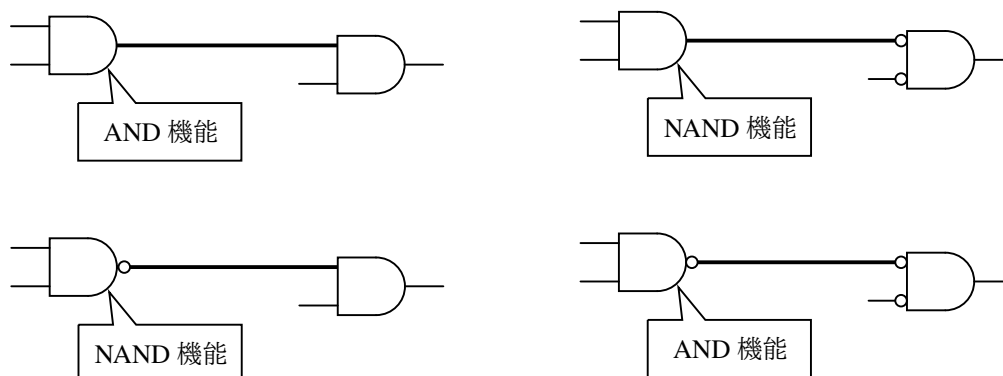
(1) POWER を入れる．
(2) ファンクションスイッチを ③ に合わせる．
(3) •)))/→| ボタンを押して，表示部に →| マークを表示させる．
(4) Ⓐ と Ⓑ の間にダイオードを接続する．
　0.4〜0.7 [V] を示せば Ⓑ 端子側がアノードである．
　OL を示せばダイオードの向きを変えて測定してみる．

注意) 製造メーカーや型番が異なると，パネル面や使用法が異なるので，マニュアルで確認すること．

第 10 章　IC による論理回路

10.1　はじめに

論理回路では，真理値を 2 つの電位に置き換えます．真を High レベル，偽を Low レベルに置き換えることを正論理，真を Low レベル，偽を High レベルに置き換えることを負論理とよびます．真理値と電位の置き換えにより，論理機能を持つトランジスタ回路が考え出されました．論理機能ごとに記号を割当て，同時に，真理値と電位の対応を示すことの出来る MIL 記号は複雑な論理回路の設計・製作にとても有効です．以下に MIL 記号の意味やその用法について説明します．∘ 印は素子の入力端子又は出力端子につけて論理機能の負論理入力又は負論理出力を示します．

∘ がなければ正論理入力又は正論理出力を表します．素子をつなぐ線は物理的には導線であり，結ばれた箇所が同電位となります．電位と真理値の置き換えが出力と入力で異なるとき，約束として，入力の置き換えが優先されます [1]．よって出力は真理値を反転して出力することになり，その反転は出力の論理機能の一部として解釈されます．例えば，入力が負論理であるとき,「AND 機能の正論理出力」は「NAND 機能の負論理出力」と読みます.

10.2　目的

真理値や論理を目で見える形で実現させるための入出力装置と，論理素子であるロジック IC に触れること．また，MIL 記号の用法を理解し，回路図から論理を読めるようになること．さらに，自分で回路図を作成でき，実際に回路が組めるようになること．

10.3　実験

論理回路を構成する入力・出力装置，ロジック IC の物理的性質の検証を行う．入出力装置の実験では，電位と真理値との対応を考えて，その入出力が正論理なのか負論理なのかを検討する．ロジック IC の実験では，入出力電位に正論理又は負論理を対応付けることにより論理機能が決まることを確認する．最後に，例題の論理式を実現するための回路を設計・製作して動作を確認する．

[使用器具] デジタルメータ (VOAC787 など)，直流電源 (541C など)，ブレッドボード

10.3.1　電源の接続

直流電源電圧を 5.0 [V] に調整し，+ 端子をブレッドボードの赤色のラインに，− 端子を青色のラインにそれぞれ接続せよ．

10.3.2　入力装置の実験

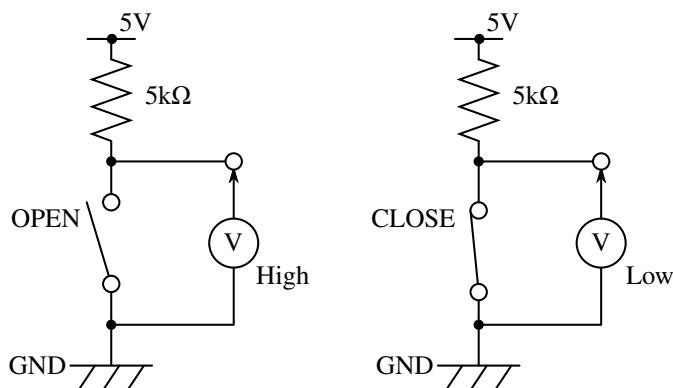



図 10-1 スイッチ回路

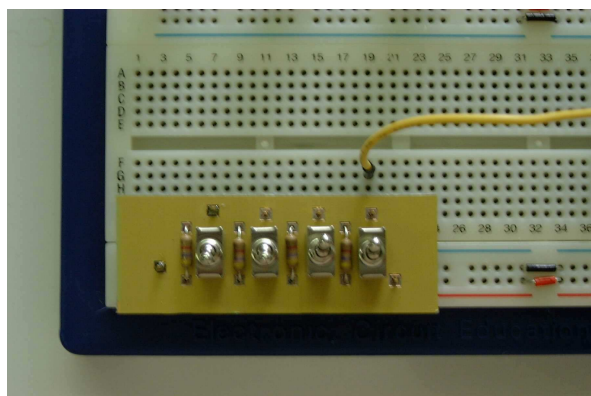
「A が真である.」を電位に変換して実現する装置としてスイッチ回路を考える．図 10-1 の回路はそれを目的としたもので，スイッチの状態と出力電位の関係を表している．

(a)　　　(b)

図 10-2 スイッチ回路の接続

「A が真である.」を「スイッチ A が上向き.」に対応させる．ブレッドボード上に図 10-2 (a) のようにスイッチ回路を接続し，どれかのスイッチを A と考えてスイッチを動かす．そのときの出力電位を測定し，下の表を完成させる．スイッチの状態が OPEN か CLOSE かは図 10-1 の回路図から考えて判断せよ．

A の真理値	スイッチ A の向き	スイッチの状態	出力電位 [V]
0	下		
1	上		

「A の真理値」と「出力電位」の関係からこの装置は正論理出力であるか? 負論理出力であるか?

Answer ________________

次に図 10-2 (b) のようにスイッチ回路を接続して同様な実験を行なう.

A の真理値	スイッチ A の向き	スイッチの状態	出力電位 [V]
0	下		
1	上		

「A の真理値」と「出力電位」の関係からこの装置は正論理出力であるか? 負論理出力であるか?

Answer ____________________

10.3.3 出力装置の実験

「C が真である.」を「C の LED が点灯している.」という現象に置き換えるための装置を考える. 図 10-3 の回路を作成せよ.

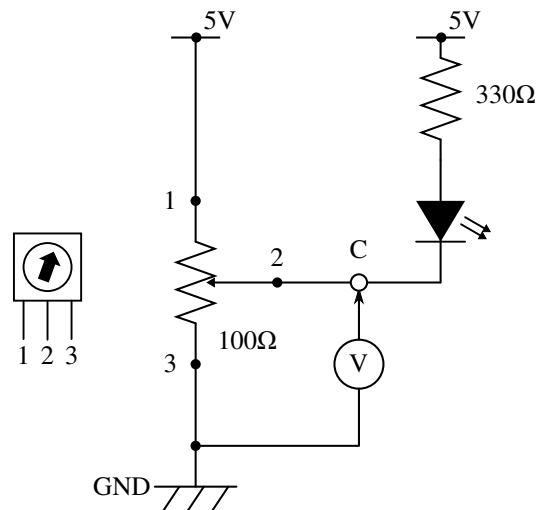



図 10-3 LED による出力装置

C が真のとき LED を点灯させるには, C の電位を正論理, 負論理のどちらに対応させれば良いか? 5 [V] と GND の間に可変抵抗 (V_R) を接続し, V_R を調節して LED の消灯, 点灯となる C の電位を測定せよ.

C の真理値	LED	入力電位 [V]
0	消灯	
1	点灯	

「C の真理値」と「入力電位」の関係からこの出力装置は正論理入力であるか? 負論理入力であるか?

Answer ____________________

次に図 10-4 のように LED 回路を接続し，LED 回路への入力電位を調整して LED の点灯及び消灯の起きる電位をそれぞれ測定せよ．

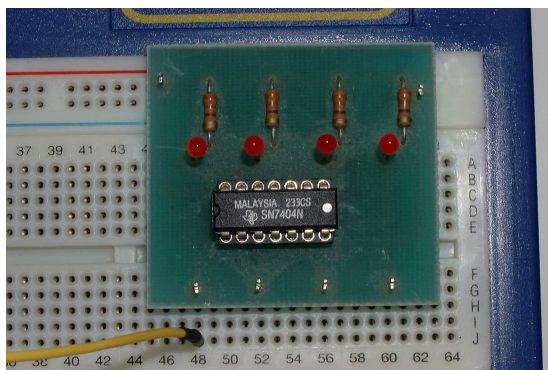
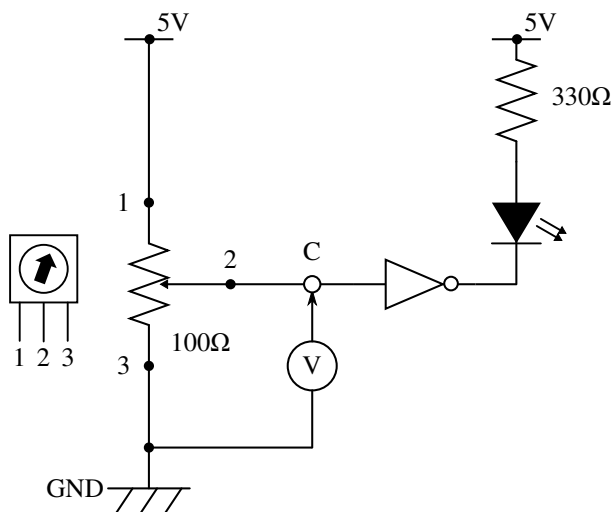



図 10-4 LED 出力回路の接続

C の真理値	LED	入力電位 [V]
0	消灯	
1	点灯	

「C の真理値」と「入力電位」の関係からこの出力装置は正論理入力であるか? 負論理入力であるか?

Answer ____________

10.3.4 ロジック IC の実験

論理機能を実現する IC について動作を調べる．SN74LS00 を図 10-5 のように配線する．IC は Integrated Circuit の略で，中はトランジスタ回路で構成されている．A，B の入力電位を表のように変えて C の出力電位を測定せよ．

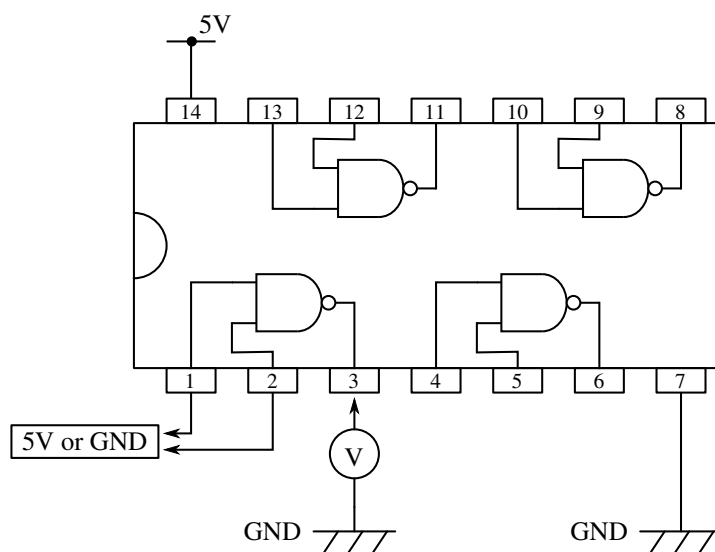



図 10-5 SN74LS00 の入出力電位特性の測定回路

A の電位 [V]	B の電位 [V]	C の電位 [V]
0.0	0.0	
0.0	5.0	
5.0	0.0	
5.0	5.0	

電位の H を 1，L を 0 に対応させた真理表を作成し，SN74LS00 の論理機能を考える．

A の真理値	B の真理値	C の真理値

論理機能はどのようになるか?

Answer ____________________

素子記号

入力を正論理，出力を負論理として真理表を作成し，SN74LS00 の論理機能を考える．

A の真理値	B の真理値	C の真理値

論理機能はどのようになるか?

Answer ____________________

素子記号

入力を負論理，出力を正論理として真理表を作成し，SN74LS00 の論理機能を考える．

A の真理値	B の真理値	C の真理値

論理機能はどのようになるか?

Answer

素子記号

これから多くの IC についてその論理機能を調べる．ここでは，入出力装置を正論理とする．ブレッドボード上にスイッチ回路，LED 回路を接続し，入出力の真理値を観察して，SN74LS02，SN74LS04，SN74LS08，SN74LS32，SN74LS86 のそれぞれの論理機能を考えよ．各 IC の入出力ピンを図 10-6 に示す．

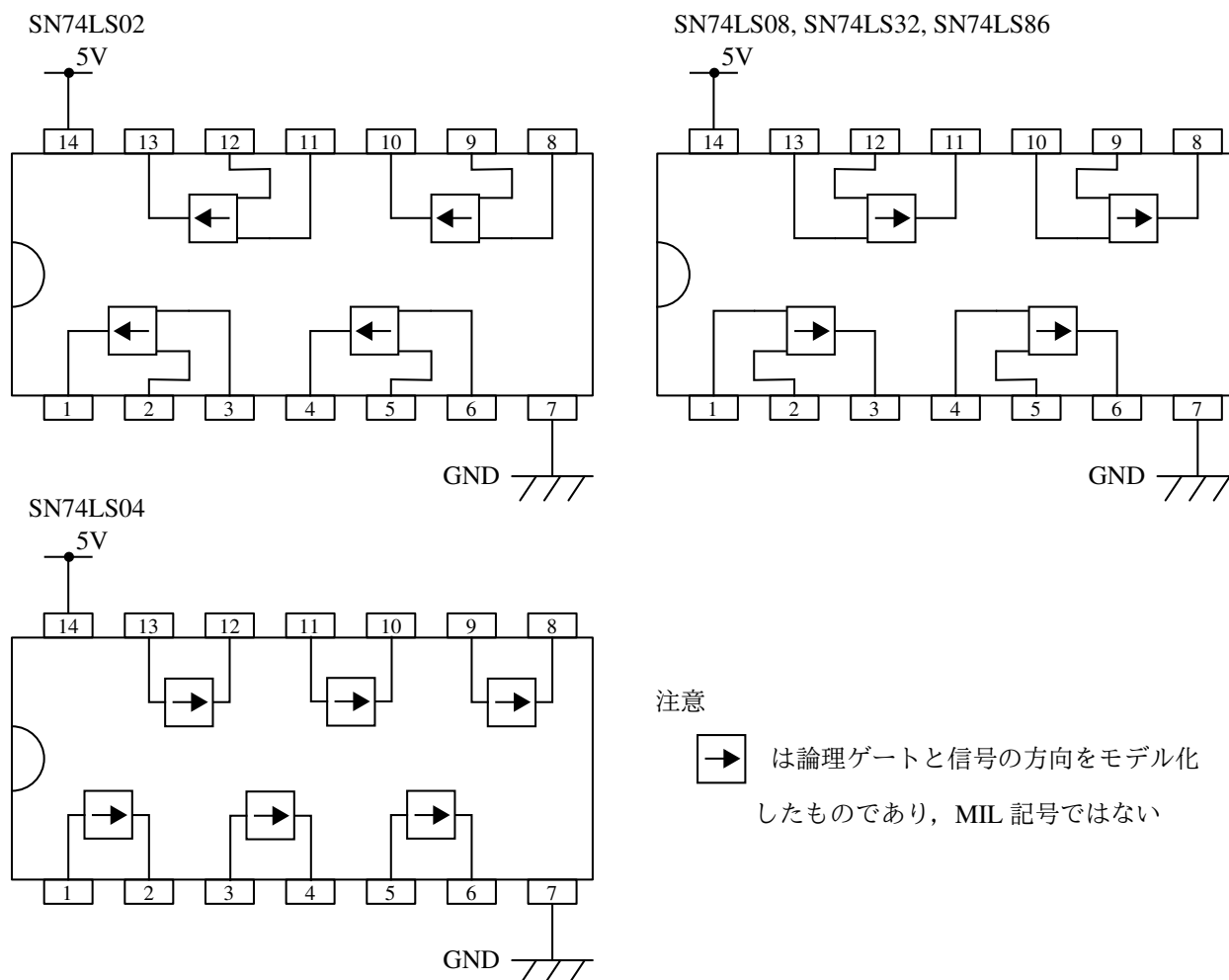



図 10-6 各 IC の入出力ピン

SN74LS02 の論理機能は?　　Answer ____________

SN74LS04 の論理機能は?　　Answer ____________

SN74LS08 の論理機能は?　　Answer ____________

SN74LS32 の論理機能は?　　Answer ____________

SN74LS86 の論理機能は?　　Answer ____________

10.3.5　論理回路の製作

以下の 1 から 3 のそれぞれの論理式を実現する回路の回路図を作成し，回路を組み立てよ．そして，スイッチや LED で論理が正しく表示されることを確認せよ．つづいて，入力装置に負論理スイッチを用いた場合の回路も同様に設計・製作せよ．

1. $A \cdot B + \overline{A} \cdot C = D$
2. $A + B + C + D = E$
3. $A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B} = F$

参考文献

[1] ディジタル・システムの設計 猪飼國夫, 本多中二 共著 CQ 出版社

第 11 章　小信号増幅回路

11.1　目的

なぜトランジスタで増幅回路ができるのかを理解する。

11.2　注意

- DC 電源についている電圧計 (アナログメータ) は信用しない．DC 電源の電圧は，テスタで測定して設定する．
- DC 電源の電圧を回路に加えたとき，DC 電源の電流計が振り切れたり，1 [A] 以上になる場合は，すぐに電圧を加えるのを止める．
- 物が焦げるようなにおいがした場合も，すぐに DC 電源の電源スイッチを切る．

11.3　実験装置

種　類	台　数	メーカ名	型　番	シリアル番号
DC 電源	各班 2 台			
オシロスコープ	各班 1 台			
発振器	各班 1 台			
テスタ	各班 2 台			
ブレッドボード	各自 1 台			
スピーカ	各班 1 個			
各種部品 (抵抗，トランジスタ，コンデンサ，接続用ケーブル，ジャンパ線，プローブ等)				

DC 電源	541C，523B，524B(METRONIX) など
オシロスコープ	SS–5702(Iwatsu) など
発振器	ファンクションジェネレータ 33120A (Agilent)

11.4　実験

以下の実験について，各自一つは担当し，それぞれの回路を組み立てて実験せよ．スピーカーを接続する回路も，他の実験回路とは別に組み立てること．

11.4.1　$V_{BE}-I_C$ 特性

図 11-1 の回路で，トランジスタのベース–エミッタ間の電圧 (V_{BE}) とコレクタに流れ込む電流 (I_C) の関係を調べ，グラフにせよ．実際の測定は，図 11-3 の回路で行ない，I_C は V_2 を測り，計算せよ．

ⓐの値がどうしてその値になるのか考えよ．
R_C がなければ，どうなるかを考えよ．
ⓑの値は何 V か?

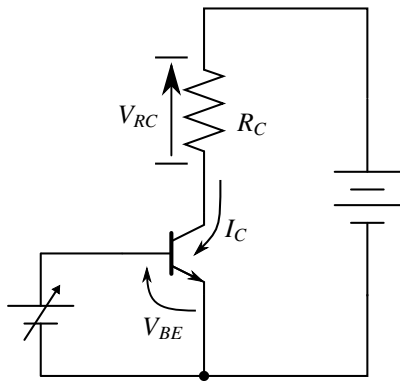



図 11-1 回路

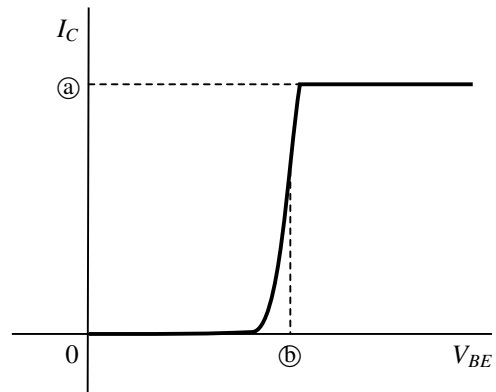



図 11-2 $V_{BE}-I_C$ 特性

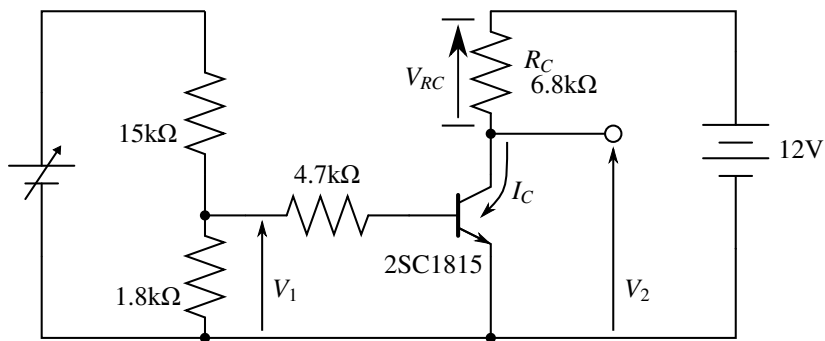



図 11-3 実験回路

V_1 (目標値) [V]	V_1 (実際の値) [V]	V_2 [V]	V_{RC} (= 12 − V_2) [V]	I_C $\left(= \frac{V_{RC}}{R_C}\right)$ [A]
0.000				
0.100				
0.200				
0.300				
0.400				
0.500				
0.600				
0.650				
0.700				
0.750				
0.800				
0.900				
1.000				
1.100				
1.200				
1.300				
1.400				

11.4.2　交流信号の増幅

① 正常な増幅

図 11-4 の回路で，発振器の信号を a–b 間に入力し，V_{IN} と V_{OUT} の信号をオシロスコープで同時に観測し，記録せよ．その際，発振器の出力は，周波数 = 1 [kHz] とし，出力振幅は，ファンクションジェネレータの表示で 100 [mV_{p-p}] になるように調整せよ．(1 – 5 ページの*1-5 に注意すること．)

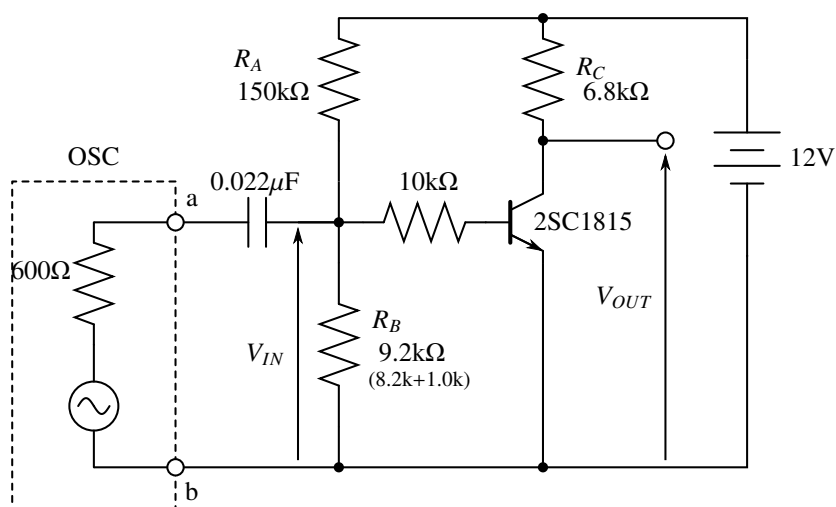



図 11-4 実験回路

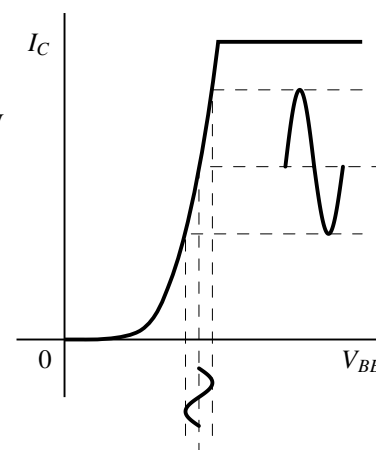



図 11-5 V_{BE} − I_C 特性

なぜ V_{OUT} が観測したような波形になるのか考えよ．

V_{IN} と V_{OUT} が逆位相になっていることも確認し，なぜそうなるのかを考えよ．

② 入力信号の振幅の影響

発振器の出力振幅を大きくすると V_{OUT} はどのようになるかを観測し，記録せよ．このとき，少し大きくした場合と，V_{OUT} が歪むまで大きくした場合の二つを記録すること．

V_{OUT} が歪む理由を考えよ．

11.4.3　バイアス抵抗の影響

発振器の出力振幅を 100 [$\mathrm{mV_{p\text{-}p}}$] に戻し，R_B の値を大きくした場合と，小さくした場合について V_{OUT} の波形を観測し，記録せよ．R_B の値は，7.8 [kΩ] (6.8k + 1.0k) と 10.4 [kΩ] (8.2k + 2.2k) にしてみる．

R_B の値を変えることで，何が変わり，結果として，V_{OUT} がどう変わるのかを考えよ．

11.4.4　スピーカーの接続

V_{OUT} にスピーカーをつないで，音を出してみる．発振器の周波数を 400 [Hz]～1 [kHz] の範囲で変え，音の高さが変化することを確認する．

発振器のかわりに，マイクで音声を入力した場合正常な声になるかどうか考えよ．また，正常な声にならないなら，どのようにしたらよいか考えよ．(付録参照)

11.5　研究課題

- A 級，B 級，C 級増幅について調べよ．
- ベースバイアス回路について，他にどのようなものがあるか調べてみよ．

11.A　付録

11.A.1　母音 “ア” の音声データ

音声の波形は，実験で用いた発振器の正弦波とは違い，上下対称ではない (図 11-6 参照)．トランジスタの増幅回路でこの音声波形が反転された場合，正常な音として聞こえるだろうか?

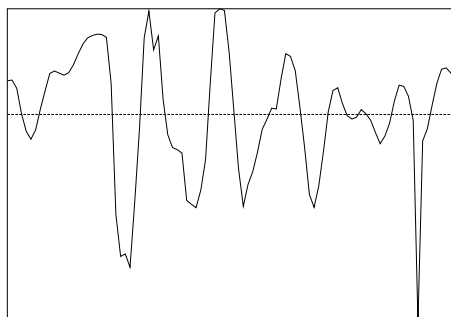



図 11-6 母音 “ア”

11.A.2　スピーカ用回路

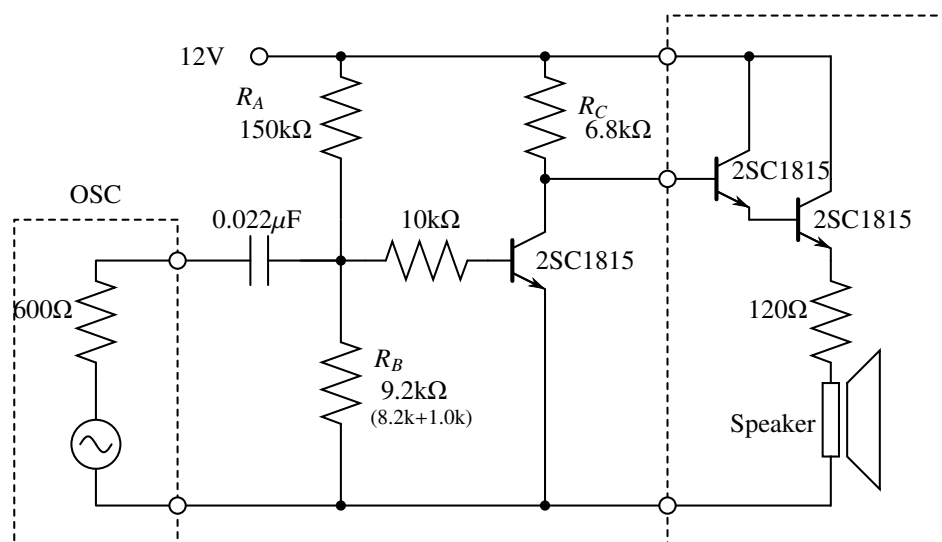



図 11-7 スピーカ接続回路

第12章　オペアンプの基礎実験

12.1　目的

オペアンプ(Operational Amplifier:演算増幅器) は，いろいろな用途に使用できる IC (Integrated Circuit: 集積回路) である．このため，各種計測器から，ラジカセやステレオアンプなどごく身近なところにも多く用いられている．オペアンプは，その内部回路を知らなくても，1 個の増幅回路として使用することができる．授業では 3 年後期の電子回路，計測工学で詳しく学ぶ．

この実験では，オペアンプを使用した基本的な回路の動作を実験により確認する．

12.2　使用器具

種　　類	台　　数	型　　番
オシロスコープ	1 台 (班)	OS–5020 など
直流電源	1 台 (班)	KENWOOD PW18 – 2 または PW18 – 3AD
発振器 (Function Generator)	1 台 (班)	33120A
ディジタルメータ	1 台 (班)	VOAC787 など
回路作成用ブレッドボード	1 台 (各自)	
電子部品，工具など	1 セット (各班)	

12.3　実験使用オペアンプ ピン接続図

オペアンプについて

オペアンプの理想的特性

- 電圧増幅度は無限大.
- 入力抵抗は無限大.
- 出力抵抗は 0.
- 周波数帯域は直流から無限大周波数.
- 入力バイアス電流は 0.
- 入力オフセット電圧は 0.

オペアンプには，1 回路タイプ，今回使用した 2 回路タイプや 4 回路タイプなど，いろいろな種類がある．

図 12-1 の Top View とは，素子を上から見るという意味である．IC 等を見る場合，Top View か Bottom View か気を付けていないと誤った配線を行うことになる．

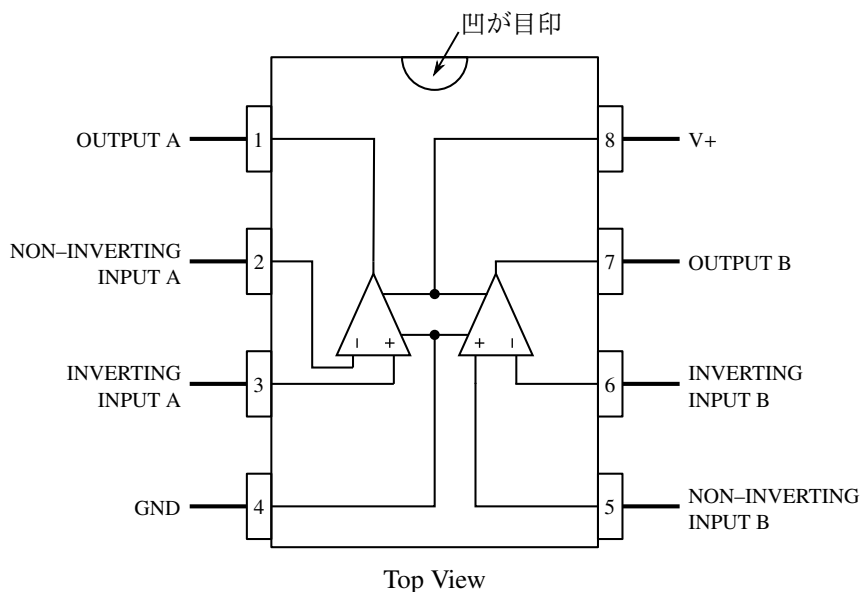



図 12-1 ピン接続図 (LM358)[1]

12.4 実験

実験は，以下に示す非反転直流増幅回路，非反転交流増幅回路，反転交流増幅回路および加算回路の 4 種類の回路で行う．各班は 4 人 (または 3 人) で構成されているので，4 人 (3 人) で手分けして 4 種類の実験回路を作成し，各々の回路を作成した学生が中心となり班全員で実験を行う．

実験で使用するオペアンプ (LM358) のピン接続図を図 12-1 に示す．IC の中にオペアンプが 2 回路あるので，どちらのオペアンプを使用してもよい．以下，このピン接続図を参考に，各自が回路を作成し，実験を行う．

12.4.1 非反転直流増幅回路の実験

オペアンプの非反転入力端子 (+in) に入力電圧を加え，それと同位相の出力電圧を得る回路を非反転増幅回路 (図 12-2 (a)) という．入力電圧としては，直流電圧と交流電圧のどちらでも印加できるが，本節では，直流電圧の増幅について実験する．

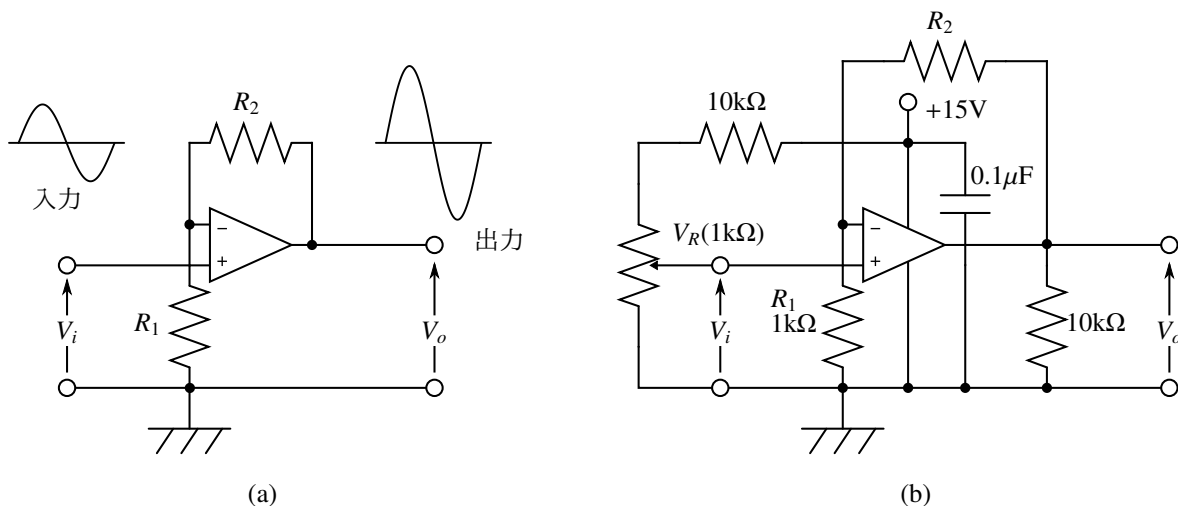



図 12-2 非反転増幅の基本回路 (a) および実験回路 (b)

非反転直流増幅回路の実験手順

1. オペアンプのピン接続図 (図 12-1) および実験回路図 (図 12-2 (b)) をもとに，ブレッドボード上に単一電源動作での非反転直流増幅回路を組み立てる．図中のコンデンサ 0.1μF は，オペアンプが異常発振するのを防ぐ目的で入っている．
2. R_1 = 1 [kΩ] は一定とし，R_2 には 2 [kΩ]，5.1 [kΩ]，10 [kΩ]，20 [kΩ] の 4 種類の抵抗を用いる．**抵抗を付け変える際，必ず電源を切ること．**
3. 入力電圧 V_i は，可変抵抗 V_R(1kΩ) を変化させ，0.5 [V] に調整する (正確に 0.5 [V] でなくてよい).
4. 表 12-1 を完成させる．また，**イマジナリショート** (後述) を確認するため，R_1 = 1kΩ，R_2 = 2kΩ，入力電圧 0.5 [V] の時の，非反転入力端子 (+in) と反転入力端子 (-in) の電位を測定し，表 12-2 を完成させる．

表 12-1 非反転直流増幅回路実験の測定結果

R_1 = 1 [kΩ] 一定	入力電圧 V_i [V]	R_2 [kΩ]	出力電圧 V_o [V]	実測値 $A_f = V_o/V_i$	理論値 $A_f = 1 + R_2/R_1$
	0.5	2			
	一定	5.1			
		10			
		20			

表 12-2 イマジナリショートの測定結果

(+in) の電位 [mV]	(-in) の電位 [mV]

12.4.2 非反転交流増幅回路の実験

前節で，直流増幅を行う実験を行ったが，本節では交流増幅について実験する．

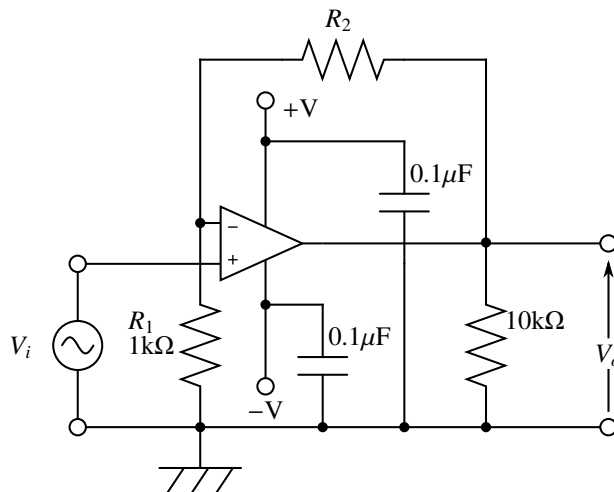



図 12-3 非反転交流増幅の実験回路

非反転交流増幅回路の実験手順

1. 交流信号の増幅を行うので，入力信号源として発振器を使用する．
2. オペアンプのピン接続図 (図 12-1) および実験回路図 (図 12-3) をもとに，ブレッドボード上に ±15 [V] (または ±5 [V]) 電源動作での非反転交流増幅回路を組み立てる．図中のコンデンサ 0.1μF は，オペアンプが異常発振するのを防ぐ目的で入っている．**直流電源の極性に注意して接続を行うこと．**極性を誤ると，オペアンプは破損する．
3. R_1 = 1kΩ は一定とし，R_2 には，2kΩ，5.1kΩ の 2 種類の抵抗を用いる．**抵抗を付け変える際，必ず電源を切ること．**
4. オシロスコープを観測しながら，入力電圧 V_{ipp} を変化させ，表 12-3 を完成させる．この時，周波数 f は常に 1kHz にする．また，出力波形にクリップ (ピーク位置のひずみ) が生じる V_{ipp} を測定する．
5. オシロスコープで入出力電圧を観測する．オシロスコープの CH1 に入力波形を，CH2 に出力波形を入力し，画面上で図 12-2 (a) のように，同位相であることを確認し，持参したグラフ用紙に波形を写し取る．歪みのない適当な 1 対の入出力波形があればよい．その際，スケールも描き入れること．
6. イマジナリショートを確認するため，R_1 = 1kΩ，R_2 = 5.1kΩ，入力電圧 1.0 [V] の時の，非反転入力端子 (+in) と反転入力端子 (-in) の電位をディジタルメータで測定し，表 12-4 を完成させる．

表 12-3 非反転交流増幅回路実験の測定結果

	R_2 = 2 [kΩ]		R_2 = 5.1 [kΩ]	
入力電圧 V_{ipp} [V]	出力電圧 V_{opp} [V]	電圧増幅度 A_f	出力電圧 V_{opp} [V]	電圧増幅度 A_f
1.0				
2.0				
3.0				
⋮				
?	クリップ発生	—	クリップ発生	—

表 12-4 イマジナリショートの測定結果

(+in) の電位 [mV]	(-in) の電位 [mV]

12.4.3 反転交流増幅回路の実験

オペアンプの非反転入力端子 (+in) を基準電位 (0 電位) とし，反転入力端子 (-in) に入力電圧を加え，その電圧と逆位相の出力電圧を得る回路を反転増幅回路 (図 12-4 (a)) という．入力電圧としては，直流電圧と交流電圧どちらでも印加できるが，ここでは交流電圧の増幅について実験する．

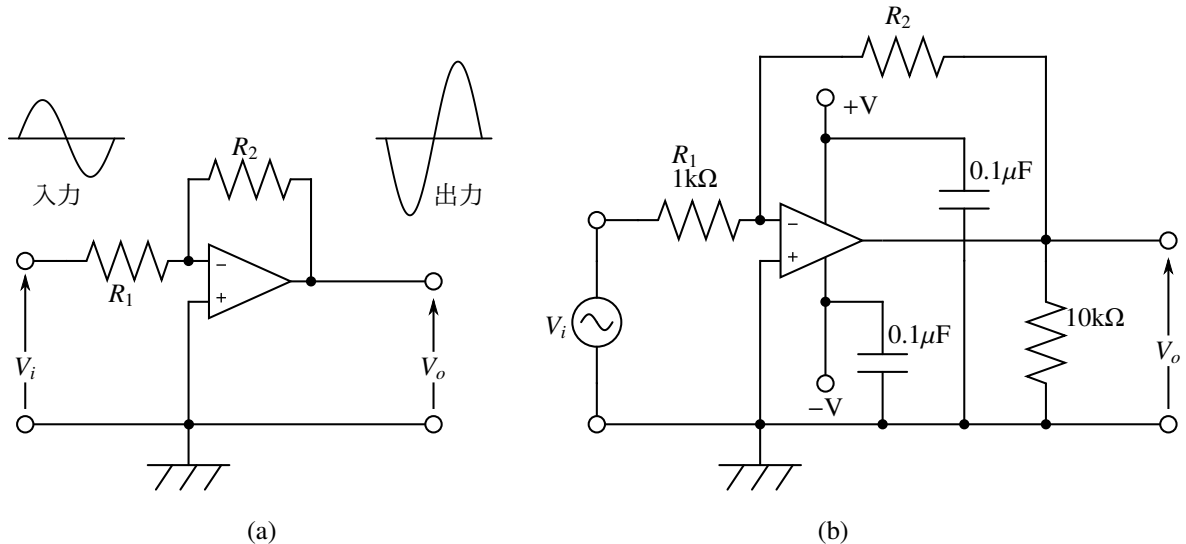



図 12-4 反転増幅の基本回路 (a) および実験回路 (b)

反転交流増幅回路の実験手順

1. 交流信号の増幅を行うので，入力信号源として発振器を使用する．
2. オペアンプのピン接続図 (図 12-1) および実験回路図 (図 12-4 (b)) をもとに，ブレッドボード上に ±15 [V](または ±5 [V]) 電源動作での反転交流増幅回路を組み立てる．図中のコンデンサ 0.1μFは，オペアンプが異常発振するのを防ぐ目的で入っている．**直流電源の極性に注意して接続を行うこと．**極性を誤ると，オペアンプは破損する．
3. R_1 = 1kΩ は一定とし，R_2 には，2kΩ，10kΩ の 2 種類の抵抗を用いる．**抵抗を付け変える際，必ず電源を切ること．**
4. オシロスコープを観測しながら，入力電圧 V_{ipp} を変化させ，表 12-5 を完成させる．この時，周波数 f は常に 1 [kHz] にする．また出力波形にクリップ (ピーク位置のひずみ) が生じる V_{ipp} を測定する．
5. オシロスコープで入出力電圧を観測する．オシロスコープの CH1 に入力波形を，CH2 に出力波形を入力し，画面上で図 12-4 (a) のように，位相が 180° 反転していることを確認し，持参したグラフ用紙に波形を写し取る．歪みのない適当な 1 対の入出力波形があればよい．その際スケールも描き入れること．
6. イマジナリショートを確認するため，R_1 = 1kΩ，R_2 = 10kΩ，入力電圧 1.0 [V] の時の，非反転入力端子 (+in) と反転入力端子 (-in) の電位をディジタルメータで測定し，表 12-6 を完成させる．

表 12-5 反転交流増幅回路実験の測定結果

	R_2 = 2 [kΩ]		R_2 = 10 [kΩ]	
入力電圧 V_{ipp} [V]	出力電圧 V_{opp} [V]	電圧増幅度 A_f	出力電圧 V_{opp} [V]	電圧増幅度 A_f
1.0				
2.0				
3.0				
⋮				
?	クリップ発生	—	クリップ発生	—

表 12-6 イマジナリショートの測定結果

(+in) の電位 [mV]	(-in) の電位 [mV]

12.4.4 加算回路

信号を足し合わせて (信号の重ね合わせ)，新しい信号を作り出すことを試みる．図 12-5 (a) に，反転加算回路を示す．

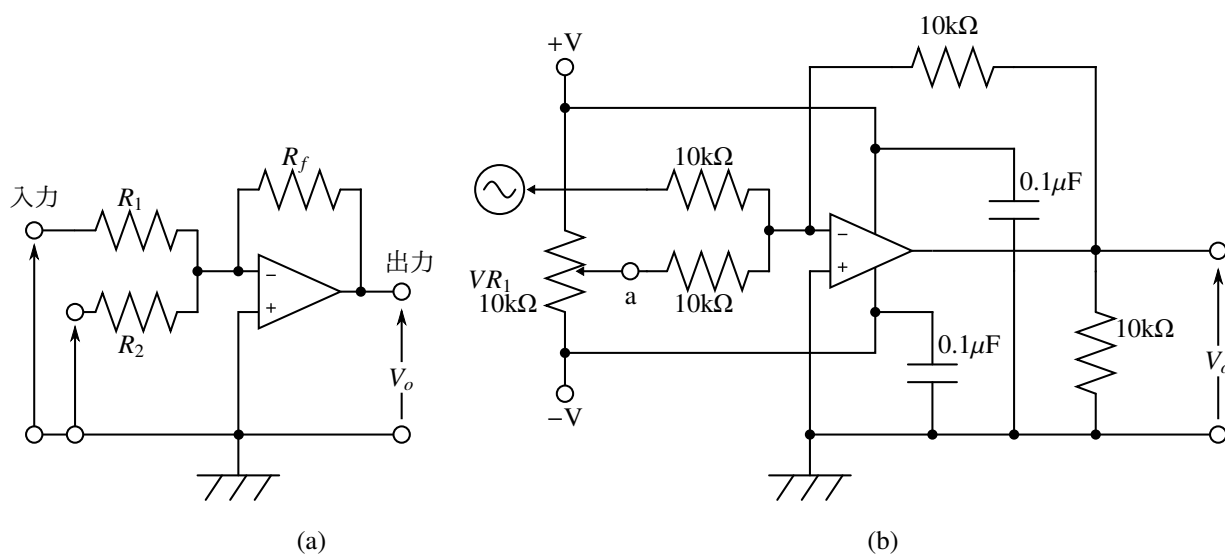



図 12-5 反転加算の基本回路 (a) および実験回路 (b)

加算回路の実験手順

1. オペアンプのピン接続図 (図 12-1) および反転加算回路図 (図 12-5 (b)) を参考に，ブレッドボード上に ±15 [V](または ±5 [V]) 電源動作の反転加算回路を組み立てよ．図中のコンデンサ 0.1μFは，オペアンプが異常発振するのを防ぐ目的で入っている．**直流電源の極性に注意して接続を行うこと．**極性を誤ると，オペアンプは破損する．
2. 発振器を接続し，1kHz，$2V_{p-p}$の信号を入力する．可変抵抗 (V_{R1}) を変化させ，a 点の電位が-2 [V]，0 [V]，2 [V] の時，入力と出力される波形をグラフ用紙に描け．

12.5 結果の整理と考察

1. 各々の実験結果の表および指定された入出力波形図を完成させよ．
2. 理論値と実験結果とを比較検討せよ．
3. 非反転および反転交流増幅回路において，入力電圧を上げて行くと出力波形にクリップが生じるのはなぜか．

本実験レポートの採点基準

1. まとめ方 読む人の身になって書いてあるか．特にデータの比較のしやすさについて．
2. 検討・考察は十分になされているか．
3. 課題を正しく解いて，さらにその結果について，自分なりの検討を加えているか．

参考図書

例えば，

「プログラム学習による基礎電気工学:直流編」末武国弘, 廣済堂出版, pp.23–48, 1 年次教科書
「電子回路 (1) アナログ編」 赤羽進他, コロナ社, pp.108–111, 3 年次教科書

その他オペアンプに関しての本は，図書館に多数あるので参考にすること．

12.A　付録

12.A.1　オペアンプ起動電圧

オペアンプの電源は，一般的には二電源方式が採用され，±15 [V] あるいは ±12 [V] がよく使用される．この場合，図 12-1 においては，8 番ピンに +15 [V] または +12 [V] を加え，4 番ピンに −15 [V] または −12 [V] を加える．また，+3〜 + 30 [V] 程度の単一電源動作が可能なオペアンプも数多くあり，オペアンプがディジタル IC と同一基板に実装される場合，ディジタル IC と同じ +5 [V] の単一電源が使用できる．この場合は，8 番ピンに+電圧を加え，4 番ピンを GND に接続する．

12.A.2　非反転増幅回路の増幅度

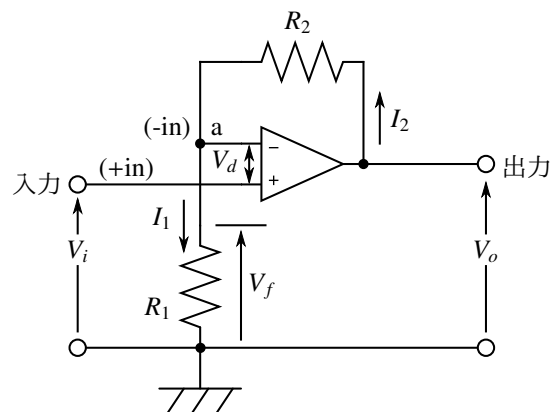



図 12-6 非反転増幅回路

図 12-6 に非反転増幅回路を示す．この回路は抵抗 R_1, R_2 による帰還回路によって，出力電圧 V_o の一部 (V_f) を反転入力端子 (-in) にもどしている．出力電圧の一部を入力側にもどすことを帰還をかけるという．

非反転入力端子 (+in) の入力電圧 (V_i) を 0 から正方向へ増加させていくと，オペアンプで増幅され，出力電圧 (V_o) も 0 から正方向へ増加する．すると出力側から抵抗 R_2，R_1 に電流 I_2，I_1 が流れる．このため，a 点の電位は上昇して V_f となり ± 入力端子間の電圧 $V_d = V_i - V_f$ は，非反転入力端子 (+in) に加えている V_i よりも極端に小さくなる．この実質的な入力電圧 (V_d) のことを差動入力電圧といい，実際には $V_d = 0$ とみなされる [1]．このことは，非反転入力端子 (+in) と反転入力端子 (-in) の電位が同電位になることであり，この現象をイマジナリショート (仮想短絡) という．

出力電圧の一部を入力側に帰還する際，入力電圧が小さくなるような帰還のかけ方を負帰還という．非反転増幅回路の電圧増幅度 (閉ループ利得 (ゲイン)) A_f は，以下の式のようになる．入力電圧 (V_o) と出力電圧 (V_i) には，次の式の関係がある．

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i \tag{12-1}$$

式 (12-1) の両辺を V_i で割ったものが，非反転増幅回路の電圧増幅度 A_f になる．

$$A_f = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \tag{12-2}$$

このように電圧増幅度 A_f は，外部抵抗の値 (または抵抗比) がわかれば計算できる．

12.A.3　反転増幅回路の増幅度

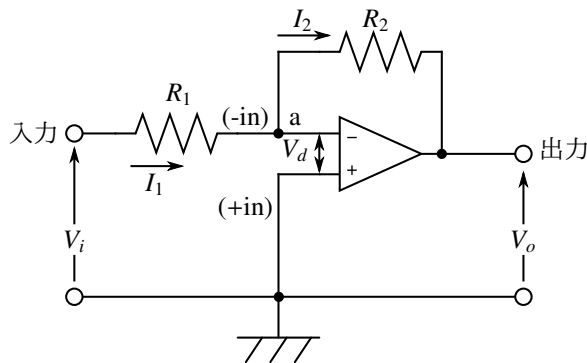



図 12-7 反転増幅回路

図 12-7 の反転増幅回路において，正の入力電圧 V_i を加えると，その電圧は R_1 を通じて a 点に加わる．その瞬間，負極性の大きな出力電圧が出力に発生し，電流 I_1，I_2 が抵抗 R_1，R_2 に流れ，a 点の電位 (V_d) を下げるように作用する．このような負帰還作用により反転入力端子 (-in) と非反転入力端子 (+in) が同電位 (0 電位) になるとき，回路は安定する [2].

反転増幅回路の電圧増幅度 A_f は，以下の式のようになる (この式の詳しい導出についても，授業で習う)．入力電圧 (V_o) と出力電圧 (V_i) には，次の式の関係がある．

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \tag{12-3}$$

式 (12-3) の両辺を V_i で割ったものが，反転増幅回路の電圧増幅度 A_f になる．

$$A_f = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \tag{12-4}$$

ここで負の符号は，入出力電圧の極性の反転を示している．このように電圧増幅度 A_f は，外部抵抗の値 (または抵抗比) がわかれば計算できる．

12.A.4　加算回路について

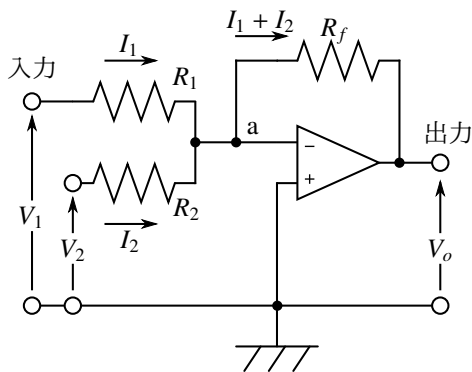



図 12-8 加算回路

図 12-8 の加算回路において，a 点の電圧は，イマジナリショートにより 0V になっている．従って，オームの法則から，

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2} \tag{12-5}$$

電流 I_1，I_2 はオペアンプの入力端子には流れ込むことができないので，足し合わされて抵抗 R_f を流れる．従って，この回路における入出力電圧の関係は，出力電圧を V_o，入力電圧を V_1，V_2 とすると以下の式となる．

$$V_o = -(I_1 + I_2)R_f = -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right) \tag{12-6}$$

参考文献

[1] http://www.national.com/ads-cgi/viewer.pl/JPN/ds/LM/LM358.pdf

[2] 鈴木美朗志「たのしくできるセンサ回路と制御実験」，東京電機大学出版局，1999

初版	2001 年 4 月発行
改訂版	2003 年 4 月発行
改訂 2 版	2011 年 4 月発行

徳山工業高等専門学校
情報電子工学科

実験担当	小林 明伸	原田 徳彦
	杉村 敦彦	古賀 崇了
	藤本 竜也	

Name: